

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOÉTICA

REVOLUÇÃO NANOTECNOCIENTÍFICA E CONDIÇÃO HUMANA

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Bioética da
Universidade de Brasília, como pré-
requisito para a obtenção do título de
Doutor.

Autora: Monique Teresinha Pyrrho de Souza Silva

Orientador: Prof. Dr. Fermin Roland Schramm

BRASÍLIA
2012

Ao Dante, pelo leite, lágrimas, sorrisos e noites mal dormidas distribuídas por estas páginas.

Ao Gabriele, pelo grande sofá na beira do abismo que carregamos por todas as nossas mudanças.

À MM, minha matrioska, por guardar a mim e a meus filhotes.

À BB, companheira de todas as horas.

Ao meu querido orientador, por me acolher em minhas dificuldades e ansiedades sem nunca perder o olhar criterioso sobre cada vírgula.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | iv |
| RESUMO | v |
| ABSTRACT | vi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. OBJETIVOS | 6 |
| 1.1.1. Objetivo geral | 6 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 6 |
| 1.2. ESTRUTURA DA TESE | 7 |
| 2. O QUE HÁ DE TÃO ESPECIAL NA NANOESCALA? | 10 |
| 2.1. O QUE É NANOTECNOLOGIA? CONCEITOS E APLICAÇÕES | 10 |
| 2.1.1. Materiais nanoestruturados: tipos e síntese | 14 |
| 2.1.2. Materiais nanoestruturados: aplicações | 16 |
| 2.2. NANOTECNOLOGIA: RETROSPECTIVA E EXPECTATIVAS | 17 |
| 2.3. NANOTECNOLOGIA, SAÚDE E MEIO-AMBIENTE | 24 |
| 3. ÉTICA E NANOTECNOLOGIA | 30 |
| 3.1. ANÁLISE ÉTICA DA NANOTECNOLOGIA: POR QUE A BIOÉTICA? | 30 |
| 3.1.1. Paradigma biotecnocientífico: breve histórico | 34 |
| 3.1.2. Nanotecnologia, paradigma biotecnocientífico e paradigma bioético | 37 |
| 3.2. NANOTECNOLOGIA – ABORDAGENS E PERSPECTIVAS ÉTICAS | 44 |
| 3.2.1. Abordagens sobre ética e nanotecnologia: um panorama | 50 |
| 3.2.1.1. A busca por legitimidade das reflexões éticas iniciais | 51 |
| 3.2.1.2. Perspectivas deontológicas e consequencialistas | 52 |
| 3.2.1.3. Contextualização social da nanotecnologia | 57 |
| 3.2.1.3.1. Análise do discurso | 59 |
| 3.2.2. Implicações éticas: proposta de uma tipologia | 64 |
| 3.2.3. Revolução à vista? Expectativas de alterações da condição humana..... | 67 |
| 4. CONDIÇÃO HUMANA E BIOÉTICA: ESCLARECENDO AS RELAÇÕES | 79 |
| 4.1. A ÉTICA E A CONDIÇÃO HUMANA | 80 |
| 4.2. REFLEXÕES SOBRE ÉTICA E CONDIÇÃO HUMANA DIANTE DAS BIOTECNOLOGIAS | 83 |
| 4.3. BIOÉTICA, AMEAÇA E CONDIÇÃO HUMANA | 90 |
| 4.4. GENÉTICA E CONDIÇÃO HUMANA | 95 |
| 4.5. BIOÉTICA, BIOPOLÍTICA E IMAGEM CONTEMPORÂNEA DE HUMANIDADE | 98 |

| | |
|--|-----|
| 5 É POSSÍVEL UMA ANÁLISE ÉTICA DA NANOTECNOLOGIA QUE SEJA INOVADORA? | 104 |
| 5.1. NANOTECNOLOGIA: CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO..... | 109 |
| 5.2. MÉTODO | 114 |
| 6. O QUE HÁ DE NOVO, AFINAL? ANÁLISE DE RESULTADOS | 116 |
| 6.1. INDÍCIOS DE UMA CIÊNCIA EM CONSTRUÇÃO | 116 |
| 6.2. A ESCOLHA DOS TERMOS E AS CONTROVÉRSIAS NO DISCURSO CIENTÍFICO | 127 |
| 6.2.1. Simplicidade X complexidade | 132 |
| 6.2.2. Controle X Risco | 133 |
| 6.2.3. Inovação X Evolução | 134 |
| 6.2.4. Inovação X Natureza | 135 |
| 6.2.5. Potencialidade X Risco | 137 |
| 6.2.6. Perfeição X Risco | 139 |
| 6.2.7. Inovação X Implausibilidade | 140 |
| 6.2.8. Comentários sobre as contradições e controvérsias da nanotecnologia ... | 141 |
| 6.3. COMO A NANOTECNOLOGIA ALTERA A CONDIÇÃO HUMANA | 143 |
| 7. CONCLUSÕES | 152 |
| REFERÊNCIAS | 159 |
| ANEXO 1 | 174 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|---------|
| Figura 1. Sigla IBM escrita com átomos de xenônio | 19 |
| Figura 2. Origami de DNA, capa da revista Nature de Número 440 | 20 |
| Figura 3. Artigos publicados mundialmente sobre nanotecnologia por ano | 21 |
| Figura 4. Jano Bifronte..... | 111 |
| Figura 5. Artigos científicos sobre nanotecnologia publicados por ano.... | 117 |
| Figura 6. Desenvolvimento da nanotecnologia..... | 118 |
| Figura 7. Número de artigos por área do autor..... | 121 |
| Figura 8. Classificação do gênero textual dos artigos..... | 122 |
| Figura 9. Classificação do gênero textual dos artigos por ano..... | 122 |
| Figura 10. Áreas de aplicação nanotecnológica..... | 123 |
| Quadro 1. Categorização dos valores não-cognitivos sobre a nanotecnologia e expressões ilustrativas..... | 129 |

RESUMO

Baseada na exploração de novas propriedades derivadas da manipulação do espaço constitutivo da matéria em níveis atômicos e moleculares, a nanotecnologia promete revolucionar o processo de produção e impactar profundamente a vida humana. O objetivo da presente tese é investigar como a questão da condição humana se insere no discurso científico sobre a nanotecnologia e qual a importância desta inserção para a bioética. Para tanto, o presente estudo consiste em uma análise da moralidade da nanotecnologia a partir da revisão dos artigos científicos publicados na revista *Science*, no período de janeiro de 2000 a junho de 2012, cujo título ou resumo continham a palavra nanotecnologia. Dos 113 artigos analisados, 67 eram artigos técnicos, 42 eram notícias e 4 eram ensaios a respeito de política científica. A autoria foi predominantemente de jornalistas científicos da própria revista, já que os pesquisadores, para denominar e resumir seus artigos, costumam utilizar termos técnicos mais específicos referentes a materiais e técnicas correlacionados à nanotecnologia. A publicação dos artigos teve um pico no período de 2004 a 2006, quando se desenvolveram debates com fins regulatórios em todo o mundo. A maior parte dos artigos (63%) mencionava potenciais aplicações da nanotecnologia, principalmente nas áreas de síntese de materiais, biomedicina e eletrônica. Apesar do caráter eminentemente técnico dos artigos, todos eles apresentavam valorações sobre a nanotecnologia, suas potenciais aplicações e implicações. Estes valores não-cognitivos foram classificados de acordo com as seguintes categorias: cientistas, complexidade, controle, dimensão, diversidade e abrangência, evolução, fascínio, implausibilidade, importância, inovação, natureza, perfeição, performance, potencialidade, realidade, risco, sensação, simplicidade, singularidade. A análise crítica das categorias revela que a nanotecnologia é descrita pelo discurso científico como uma tecnologia nova, única e revolucionária, baseada no controle e manipulação de estruturas muito pequenas. De alta performance e caráter estratégico para diversas áreas científicas e técnicas, a nanotecnologia produz estruturas complexas que se aproximam, em beleza e função, da perfeição das estruturas naturais. Sua capacidade de potencializar e simplificar técnicas utilizadas atualmente e a possibilidade de transformar a vida cotidiana causam excitação e fascínio na comunidade científica. Esta, no entanto, ao abordar as possíveis desvantagens da nanotecnologia, descarta visões consideradas alarmistas e baseadas em cenários considerados implausíveis. O discurso científico, no entanto, não é unívoco e a descrição das características pertinentes da nanotecnologia oscila entre a natureza e a artificialidade, entre a inovação e a continuidade, entre a complexidade e a simplicidade. Estas aparentes contradições revelam polêmicas e opções discursivas características do processo de construção do conhecimento científico. As polêmicas e os esforços para aumentar sua receptividade pública, presentes no discurso científico sobre a nanotecnologia, trazem implicações importantes para a abordagem bioética dos riscos relacionados à toxicidade humana e ambiental de seus produtos. No entanto, talvez o aspecto ético mais significativo da nanotecnologia seja o convite para uma nova compreensão sobre o DNA, pois de código da vida ele passa a figurar no discurso científico como material nanotecnológico ideal. Isso anuncia uma mudança na compreensão da condição humana, hoje predominantemente mediada por uma predeterminação genética de todas as suas dimensões. A análise do discurso científico sobre a nanotecnologia ilustra a maneira como a condição humana, definida por critérios diversos ao longo do tempo, tem sido ditada recentemente pelo paradigma biotecnocientífico. Desta maneira, a nanotecnologia como objeto, ilustra a importância do estabelecimento de um diálogo, com a participação da bioética, sobre a escolha destes critérios.

Palavras-chave: Bioética; Condição Humana; Nanoética; Nanotecnologia.

ABSTRACT

Based on the new properties resulting from the manipulation of matter at the atomic and molecular levels, nanotechnology promises to revolutionize the production processes and transform human life. The objective of this thesis is to investigate how the question of the human condition is treated in the scientific discourse about nanotechnology and the bioethical implications of these developments. To that end, the present thesis consists of an analysis of the morality of nanotechnology in a bibliographical survey of the papers about nanotechnology published in Science magazine between January 2000 and June 2012. Of the 113 articles analyzed, 67 are scientific articles, 42 are news and 4 are scientific policy essays. Most of the articles were written by the magazine staff, because the researchers, instead of using the name 'nanotechnology,' use more specific technical terms referring materials and techniques related to nanotechnology. There was a peak of publication between 2004 and 2006, when there were many regulatory discussions around the world. Most of the articles (63%) mentioned potential nanotechnology applications, mainly in materials synthesis, biomedicine and electronics. Despite the technical character of the articles, all of them showed some kind of appraisal of nanotechnology, its potential applications and implications. These kind of non-cognitive values were sorted by the following categories: complexity, control, dimension, diversity and scope, evolution, fascination, implausibility, importance, innovation, nature, perfection, performance, potentiality, reality, risks, scientists, sensation, simplicity, singularity. The critical analysis of the categories reveals that nanotechnology is described in the scientific discourse as a new, unique, and revolutionary technology, based on the control and manipulation of very small structures. Nanotechnology presents high performance and a strategic importance for many techno-scientific areas. It produces complex structures that compares in beauty and function to natural perfection. Additionally, its ability to potentialize and simplify current techniques and the potentiality to change daily life cause excitement and fascination to the scientific community. That community, however, dismisses alarmist and implausible scenarios. The scientific discourse is not univocal and the description of the nanotechnological aspects oscillates between nature and artificiality, between innovation and familiarity, between simplicity and complexity. Those apparent contradictions reveal polemics and discursive options characteristic of the construction of the scientific knowledge. The polemics and the efforts to increase the public reception, founded in the scientific discourse about nanotechnology, raise important consequences for the ethical debate on the toxicity of nanotechnology to humans and environment. However, potentially, the main ethical aspect of nanotechnology may be the scientific invitation to comprehend the DNA diversely. In the scientific discourse about nanotechnology, that molecule known as the "code of life" turns into the most promising nanotechnological material. Given the cultural role of DNA, changing the way we comprehend it, the scientific discourse can alter our understanding of human condition. The analysis of the scientific discourse of nanotechnology illustrates how the human condition, represented differently across time, has been determined by the biotechnoscientific paradigm. Therefore, nanotechnology as a scientific object illustrates the importance of an ethical dialogue about the criteria used to determine the present representation of human condition.

Keywords: Bioethics; Human Condition; Nanoethics; Nanotechnology.

1

INTRODUÇÃO

A nanotecnociência surgiu no final do Século XX como uma nova promessa de rápidos avanços tecnocientíficos que transformarão profundamente a forma como nos relacionaremos com o mundo no futuro. Com efeito, a capacidade técnica de manipular a matéria na dimensão de seus átomos e moléculas revela novas propriedades de materiais já conhecidos e permite a produção de dispositivos e compostos novos, cujas aplicações, se concretizadas, incrementarão quase todo tipo de produção tecnológica, de fármacos a vestimentas, da indústria alimentar à indústria naval (Jones, 2011).

Bem como as demais biotecnologias, a nanotecnologia é vista, inicialmente, de forma bastante entusiasta, anunciando promissoras mudanças na vida humana como a conhecemos hoje. Recentemente, avanços na área do genoma humano e das células tronco também adquiriram grande impacto tanto nas publicações científicas quanto nas mídias leigas, ao noticiar a iminência da cura de muitos males, quer pela identificação e o tratamento genético, quer por uma promessa de ilimitada e pluripotente regeneração celular (Holm, Takala, 2007).

Em comum, esses avanços apresentam o intento de controlar e transformar processos orgânicos e seres vivos para adaptar o organismo humano a seus próprios desejos e projetos. O conjunto de ferramentas teóricas e práticas que visam transformar a qualidade da vida humana – como a diminuição do sofrimento evitável e a melhora das condições de vida – é conhecido como paradigma biotecnocientífico e busca superar as limitações impostas pela estrutura orgânica da vida humana por meio da interferência na evolução biológica (Schramm, 2010a).

A nanotecnologia parece ser, atualmente, o último nível deste poder de controle e interferência sobre os processos orgânicos, já que possibilitaria rearranjar a matéria

átomo por átomo (Balzani, 2008).

A pesquisa sobre aspectos técnicos e científicos da nanotecnologia é intensa e recebe crescentes investimentos (Cunningham, Porter, 2011), inclusive no Brasil (Kay, Shapira, 2011). Alguns produtos já chegam ao consumidor, como medicamentos, cosméticos e vestimentas (Roco, 2011).

Em particular, seus produtos e dispositivos prometem aplicações revolucionárias principalmente nas áreas biomédicas. Por exemplo, a nanotecnologia poderia em alguns anos curar doenças como câncer, diabetes e insuficiência hepática (Service, 2005a; Lavine et al., 2005). Assim sendo, a nanotecnologia promete ser o cerne de toda a produção tecnológica do Século XXI e transformar a medicina, a indústria, a informática, a relação humana com o meio-ambiente e a qualidade de vida como um todo (Roco, 2011).

No entanto, as possíveis implicações éticas deste fenômeno recente do saber-fazer biotecnocientífico são ainda em boa parte desconhecidas pelo público em geral (Macnaghten, Guivant, 2011).

Ainda assim, os bastidores das pesquisas científicas e das decisões políticas já presenciam intensos debates. Neste contexto, é possível perceber que a nanotecnologia chama tanta atenção não porque constitui uma técnica nova, mas pelo imaginário em que se inscrevem suas potencialidades (Mordini, 2007).

O discurso científico sobre a nanotecnologia, que a anuncia como tão revolucionária quanto a introdução da eletricidade, o advento da biotecnologia e da informática (Roco et al., 2011), ao ser questionado sobre os aspectos éticos de suas pesquisas adquire um novo tom. Com efeito, os “revolucionários” produtos e dispositivos são aproximados a outros já existentes e apresentados como mero melhoramento de produtos já testados e estabelecidos, não representando, portanto, uma ameaça (Proffitt, 2004).

Percebe-se, assim, que a nanotecnologia se apresenta com duas faces: a primeira é aquela das potenciais aplicações benéficas da nanotecnologia e nos fala sobre a dimensão revolucionária que tocaria todas as dimensões da vida humana (Roco, 2011); a segunda é aquela que enfrenta as implicações éticas e na qual a nanotecnologia é apresentada como uma tecnologia meramente incremental do saber-

fazer tecnocientífico e biotecnocientífico tradicional, sendo, portanto, segura por ser uma continuidade de outras tecnologias já consagradas.

Em particular, na defesa da nanotecnologia, argumenta-se que até mesmo os achados de maior toxicidade dos nanomateriais precisariam ser revistos em seus métodos, até mesmo porque os riscos da nanotecnologia podem ser menores do que aqueles impostos diariamente por compostos já conhecidos, como a gasolina ou a coleira antipulga dos cães (Stern, McNeil, 2008).

O que se percebe é que esta comparação com outros materiais pretende ser uma espécie de apelo à realidade, segundo o qual é preciso pensar a nanotecnologia e seus impactos sem fantasias. Este apego aos *fatos científicos*, aos *fatos reais*, presente no debate ético sobre as potenciais consequências da nanotecnologia, partilhado não somente por cientistas, mas também por outros atores envolvidos na discussão a respeito dos impactos éticos da nanotecnologia, é colocado em oposição a visões futurísticas, por vezes comparadas à ficção científica. Segundo essa perspectiva predominante, que aprecia a cientificidade e sua sobriedade, os principais aspectos éticos da nanotecnologia seriam aqueles referentes a possíveis impactos sobre a saúde do homem e sobre o equilíbrio ambiental (Ferrari, 2010).

É importante, porém, perceber que a descrição da nanotecnologia pelos próprios cientistas parte de seus potenciais revolucionários, sem entrar no mérito de seus possíveis efeitos adversos, de fato minimizados porque em princípio poderiam ser inferidos a partir dos efeitos já conhecidos sobre os efeitos das biotecnologias tradicionais. Existem, assim, duas medidas: por um lado, as visões do futuro em que o uso da tecnologia permitiria em princípio o controle absoluto de todas as dimensões da vida humana contam com o prestígio do discurso científico, enquanto outros cenários em que as tecnologias ficariam fora do controle humano são considerados implausíveis (Hurtley, Szuromi, 2006).

Este panorama conflituoso em que um discurso futurístico é considerado científico e, portanto, também moralmente válido, enquanto outro é desautorizado porque caracterizado como ficção científica, nos indica que para analisar eticamente novas biotecnologias não basta saber sobre as probabilidades de riscos para a saúde do homem e para o meio-ambiente no futuro. Neste sentido, seria necessário encarar

os cientistas como produtores culturais criativos e dar conta das formas pelas quais os instrumentos e infraestruturas materiais da tecnociência e da biotecnociência contribuem, de maneira significativa, para conformar a compreensão socialmente compartilhada de suas práticas e de seu sentido, tornando-a paradigmática e consensual. Entretanto, a este respeito é preciso esclarecer o que seu discurso tem por objetivo revelar e aquilo que escolherá obscurecer, reprimir e retirar do cenário ao apresentar os novos avanços biotecnológicos à sociedade (Fischer, 2011).

Assim sendo, para qualificar a análise de um tema tão complexo quanto a nanotecnologia, é necessário articular teoricamente contribuições das ciências sociais e humanas, mas também das ciências biomédicas. Todas elas são fundamentais para a compreensão dos avanços da biotecnociência e das novas aplicações biotecnológicas, da sua apropriação pela biomedicina e de seus resultados e consequências simbólicas, discursivas e sociais.

Analisar eticamente a nanotecnologia pressupõe, portanto, buscar compreender o que este recente fenômeno tecnocientífico representa para seus atores (pesquisadores, eticistas, sociedade leiga e instâncias decisórias governamentais) e a partir disso oferecer um conjunto de informações importantes, sem as quais a análise de uma tecnologia emergente é, no mínimo, limitada.

Devido ao fato de ser um campo interdisciplinar, a bioética constitui um espaço ideal para esse tipo de exercício. É por este motivo que se justifica analisar de forma mais ampla a nanotecnologia, incluindo as escalas de valores morais e políticos, para que o pensar normativo da bioética sobre ela esteja suficientemente instrumentado.

A análise do discurso sobre a nanotecnologia revela que aquilo que a torna ao mesmo tão fascinante e amedrontadora é sua capacidade de manipular com precisão toda a matéria, inclusive o próprio DNA. É este poder de alterar e recondicionar a vida humana, nos mais diferentes aspectos, que a torna tema de interesse da bioética.

Por este motivo, o que esta tese propõe é um passo a mais na análise ética, colocando de lado tanto o argumento da urgência da tomada de decisões quanto o apelo a se ater somente aos fatos científicos. O que se propõe é a análise ética do discurso científico sobre a nanotecnologia, desde suas fontes mais estimadas: os artigos científicos. Este passo busca evitar a reprodução de reducionismos e

simplificações encontrados no debate ético das biotecnologias anteriores que, ao partir dos “fatos científicos”, elaborados pelo discurso científico, acabavam por ignorar, em grande parte, os fatores relacionados à construção do conhecimento científico, inclusive os valores morais e a diversidade de interesses envolvidos.

Desta maneira a proposta é partir, não do fato científico, mas do seu processo de construção, simbolização e percepção, que inevitavelmente inclui valores ou crenças subjacentes à prática científica e que lhe dão forma e credibilidade. O objeto desta tese, portanto, será a moralidade de um sistema complexo onde se desenvolve uma dialética entre fatos e valores, que interagem entre si. Espera-se evitar, assim, um debate ético e bioético que não atinge os aspectos pertinentes, do ponto de vista moral, da prática científica. Da mesma forma, pretende-se desviar do recorrente oferecer respostas técnicas a problemas morais, ofertas estas que nunca chegam de fato a responder as questões éticas envolvidas.

Para tanto, o que se propõe aqui é não somente utilizar o referencial bioético para analisar um novo tema biotecnocientífico, mas, ao tratar da nanotecnologia, buscar compreender o que poderia unir todos os temas de interesse da bioética. É neste ponto que emerge a questão da condição humana.

Os mais recentes desafios impostos à bioética, como no caso da biotecnologia das células tronco embrionárias e daquela dos organismos geneticamente modificados (OGM), ilustram, em seus debates, o que esta tese tenta evitar. Encarados como fatos inscritos em uma prática tecnocientífica, eles levantam discussões sobre início da vida, estatuto do embrião, disponibilidade do código genético, dentre outras. No entanto, um novo fato científico, como uma nova técnica que dispense o uso de células embrionárias para obtenção de células pluripotentes, pode encerrar a discussão bioética! A discussão sobre início da vida permanece, no entanto, mas sem objeto, pairando, esperando que a próxima biotecnologia emergente levante novamente as mesmas questões.

Esta tese busca ilustrar, a partir do caso da nanotecnologia, o que faz das biotecnologias questões de interesse da bioética, visto que se trata de algo que é, ao mesmo tempo, uma técnica e uma práxis aplicadas ao fenômeno da vida, implicando, portanto, sempre crenças e valores. Mas isso implica também em perceber que o que é

recorrente na bioética, em temas tão diversos como o aborto e a nanotecnologia, é, no fundo, a condição humana, que, embora sempre pressuposta, fica indeterminada nos discursos, e, portanto, constantemente sob ameaça.

Assim, nesta tese, a nanotecnologia apresenta-se como um objeto para a bioética justamente naquilo que toca a condição humana.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Investigar, com base na literatura científica especializada, como a questão da condição humana se coloca no discurso científico sobre a nanotecnologia e qual é o sentido ético implicado por esta inserção.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analisar as principais concepções que subjazem às narrativas científicas sobre a nanotecnologia e a forma como estas concepções influenciam a percepção sobre quais seriam as possíveis implicações éticas da nanotecnologia e as possíveis respostas práticas a serem dadas.
- Estudar a relação entre as diferentes concepções de ser humano e as perspectivas éticas sobre as nanotecnologias envolvidas.
- Contribuir para fortalecer a metodologia inter e transdisciplinar da bioética, aplicada a casos concretos por meio da abordagem da nanotecnologia.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

A fim de atingir estes objetivos serão percorridos alguns passos importantes para a familiarização com o objeto nanotecnologia, sua relação com a bioética e com a condição humana. Por este motivo, nos três capítulos subsequentes será oferecida uma espécie de *status quaestionis* sobre a nanotecnologia em seus aspectos tecnocientíficos, sobre o presente debate ético sobre o tema e sobre sua relação com a questão da condição humana. Esses capítulos servem ao mesmo tempo como uma apresentação do referencial teórico sobre a nanotecnologia e como uma justificativa para o método de análise empreendido nesta tese.

O capítulo ***O que há de tão especial na nanoescala?***, a seguir, apresenta os aspectos tecnocientíficos que determinam o caráter inovador da nanotecnologia e as dificuldades encontradas em elaborar um conceito preciso sobre o que é nanotecnologia. Para tanto, serão consideradas algumas características específicas da nanotecnologia que podem estar relacionados à impossibilidade de prever seus potenciais riscos.

Ainda no próximo capítulo, são citados os principais tipos e sínteses de materiais nanotecnológicos, bem como as expectativas sobre suas possíveis aplicações e impactos sobre áreas tecnocientíficas e industriais. O fechamento do capítulo menciona a relação desta nova tecnologia com a saúde humana e o meio-ambiente, e aponta para o fato de que estes aspectos não encerram as questões éticas relacionadas à nanotecnologia.

O capítulo ***Ética e nanotecnologia*** tem por intuito oferecer um cenário amplo sobre o estado atual da discussão ética sobre a nanotecnologia. Inicialmente, este recente avanço tecnológico é contextualizado no interior do paradigma biotecnocientífico. A argumentação avança no sentido de demonstrar que o mesmo contexto discursivo que determina o estabelecimento do paradigma biotecnocientífico influencia a constituição do paradigma bioético. É principalmente por esta relação que a bioética apresenta-se como espaço para reflexão sobre a moralidade da nanotecnologia. A partir deste ponto, é oferecido um panorama das principais abordagens e dificuldades no presente debate ético sobre a nanotecnologia.

Em sua conclusão, o capítulo descreve como principal limitação das presentes abordagens éticas da nanotecnologia sua tendência à segmentação. Assim, aponta para a necessidade de compreender a nanotecnologia em suas dimensões técnica, social e discursiva. É esta perspectiva que revela que a principal dimensão ética da nanotecnologia deriva justamente desta visão segmentada dos fenômenos tecnocientíficos naquilo que acaba por resultar em uma representação também segmentada e limitada do humano.

O capítulo ***Condição humana e bioética: esclarecendo as relações*** trata da condição humana propriamente dita, de sua relação com a ética e com as práticas que envolvem as novas biotecnologias. O objetivo do capítulo é conduzir o leitor à compreensão de que não somente as questões de interesse da bioética são determinadas pela relação destas práticas com a questão da condição humana, mas também que esta mesma questão é aquilo que subjaz o exercício de toda a ética, desde sua origem.

Nesta perspectiva, argumenta-se que a ética, enquanto sistematização filosófica da moral, sob qualquer fundamento, pressupõe a existência de um ser humano genérico e, portanto, de uma espécie de universalidade de princípio da condição humana. A bioética, por sua vez, localiza-se dentro da tradição filosófica justamente na paradoxal tarefa de discutir aquilo que caracteriza a existência humana, para fundamentar a moralidade, enquanto esta mesma existência encontra-se ameaçada.

A bioética o faz, porém, no contexto da ruptura epistemológica estabelecida pela vigência do paradigma biotecnocientífico. Contudo, uma concepção que podemos chamar de restritiva (ou reducionista) deste acaba por elevar a genética como principal forma de exprimir aquilo que nos define como humanos, o que representa um rompimento com a tradição ocidental de descrever a condição humana a partir da dualidade mente-corpo. De fato, esta ruptura traz consequências não somente para a percepção que podemos ter do sentido da atividade biotecnocientífica, mas também para a forma como o referencial bioético toma a própria condição humana como objeto de suas reflexões éticas.

O percurso percorrido até este capítulo na tese busca contextualizar a forma como a nanotecnologia — não somente como um conjunto de artefatos técnicos, mas

como uma tecnologia que envolve práticas discursivas e disputas de interesses — anuncia uma transformação na condição humana conforme a descrevemos.

O capítulo ***É possível uma análise ética da nanotecnologia que seja inovadora?*** apresenta o método de análise da tese. No entanto, aborda, antes, a escolha da análise do discurso científico como meio de avançar na reflexão bioética acerca da relação entre as biotecnologias em geral, e da nanotecnologia em específico, com a condição humana. Para tanto, aponta algumas distinções necessárias para este empreendimento, entre elas a diferença entre “natureza humana” e “condição humana”.

O capítulo ***O que há de novo, afinal? Análise de resultados*** trata, conforme o próprio título, da análise dos resultados e apresenta como vantagem, ao contrário do que se poderia esperar, o fato de que a nanotecnologia é um empreendimento tecnocientífico ainda em construção. O benefício de analisar este processo ainda em curso é o fato de que o discurso científico demonstra mais claramente suas controvérsias.

A maior destas controvérsias é justamente aquela que se apresenta mais ligada à alteração da condição humana anunciada pela nanotecnologia e, portanto, de maior importância para a bioética.

Nas ***Conclusões***, são retomados pontos importantes desse percurso, inclusive a importância da análise do discurso científico enquanto uma proposta que oferece novos instrumentos para compreender os temas da prática tecnocientífica e biotecnocientífica de interesse da bioética. A contribuição da tese não pretende, portanto, ser uma prescrição normativa direta para o tema da nanotecnologia, mas uma compreensão do próprio refletir bioético e de sua relação com a questão da condição humana.

2

O QUE HÁ DE TÃO ESPECIAL NA NANOESCALA?

Trabalhar em nanoescala significa interferir em estruturas na grandeza de nanômetros (10^{-9} m). A escala em si não é nova, nem ao menos a existência de nanopartículas na natureza ou seu uso pela ciência é novidade (NNI, 2012). Cabe-se perguntar, então, o que torna a nanotecnologia um dos tópicos mais debatidos na esfera acadêmica.

Para compreender a agitação científica em torno da nanotecnologia, as implicações éticas que têm sido apontadas como possíveis e a forma como a nanotecnologia levanta a questão da condição humana, é preciso primeiramente esclarecer alguns aspectos técnicos.

Por este motivo, este capítulo busca oferecer um rápido panorama sobre o estado da arte das pesquisas em nanotecnologia e as expectativas de suas aplicações e apropriações pelo mercado. O objetivo aqui não é realizar uma abordagem exaustiva destes aspectos, mas tão somente oferecer os esclarecimentos julgados necessários para instrumentar a análise ética sobre os aspectos pertinentes da nanotecnologia.

2.1. O QUE É NANOTECNOLOGIA? CONCEITOS E APLICAÇÕES

Resultado da interação dos conhecimentos de física quântica, biologia molecular, eletrônica, química e engenharia de materiais (Buzea et al., 2007), a nanociência é a área do conhecimento que estuda os princípios fundamentais de moléculas e estruturas, nas quais pelo menos uma das dimensões está compreendida entre 1 a 100

nm, as chamadas nanoestruturas. A nanotecnologia, por sua vez, consiste na aplicação técnica destas nanoestruturas em dispositivos nanoescalares utilizáveis (Ratner, Ratner, 2003).

A distinção, porém, entre nanotecnologia e nanociência não é usual. Na literatura científica, o termo nanotecnologia, que poderia inclusive ser melhor denominado como “nanotecnociência”, refere-se à compreensão da unidade complexa de materiais, artefatos e energia, assim como aos agentes que a transformam. Neste sentido, o termo nanotecnologia, como vem sendo utilizado, descreve o conjunto das atividades cognitiva e técnica, que são de fato inseparáveis porque visam à inovação tecnológica para o mercado (Osorio, 2002).

Apesar de todas essas definições se referirem à dimensão nanométrica, é imprescindível compreender que determinante não é tanto a dimensão em si, mas as propriedades químicas e físicas diversas apresentadas pelos materiais quando manipulados em nanoescala (Ratner, Ratner, 2003).

No entanto, as definições encontradas na literatura não são unânimes. O conceito fornecido oficialmente pela *National Science Foundation* (NSF) (2000), por exemplo, é impreciso, não estabelece distinções entre nanociência e nanotecnologia e não fornece critérios de inclusão definitivos para os produtos. Segundo a NSF (2000), nanotecnologia refere-se à pesquisa e tecnologia desenvolvidas a partir de novas propriedades vinculadas à manipulação da matéria em nível nanoescalar, ou seja, entre 1 a 100 nm; no entanto, admite que as mesmas propriedades possam ser encontradas em dimensões abaixo de 1 nm e acima de 100 nm.

Diferentes definições convergem para um conjunto de características fundamentais da nanotecnologia: ao menos uma das dimensões das partículas deve ter entre 1 e 100 nm; o processo de síntese deve demonstrar absoluto controle sobre as propriedades físicas e químicas das estruturas moleculares; e os blocos de compostos nanoestruturados iniciais, ao se combinarem quimicamente, devem ter a capacidade de produzir estruturas maiores (Mansoori, 2005).

Uma das vantagens oferecidas pela manipulação nanométrica dos materiais é a possibilidade de alterar as propriedades de um material sem alterar sua composição química, o que pode lhe oferecer novas aplicações. Outro benefício explorado pelos

pesquisadores é a capacidade de organização sistemática de entes orgânicos, utilizada para sintetizar compostos nanoestruturados, que passam a ser produzidos por um mecanismo conhecido por *self-assembly*, uma produção auto-organizada sem mediação de estímulos externos posteriores. A nanoescala promove, adicionalmente, o aumento da razão superfície/volume dos materiais, tornando-os quimicamente mais reativos. Por último, materiais nanoestruturados, por terem sua disposição atômica precisamente determinada, possuem uma maior densidade, o que melhora diversas propriedades do material como, por exemplo, condutividade elétrica, capacidade de armazenamento de dados, etc. (Mansoori, 2005).

A alteração das propriedades dos materiais em nanoescala é atribuída fundamentalmente à interação de dois fatores: os efeitos quânticos e os efeitos de superfície (Köhle, Fritzsche, 2007).

Primeiramente, a redução a dimensões nanométricas possibilitaria observar fenômenos explicados pela teoria quântica. Segundo esta, em materiais nanoestruturados observa-se uma natureza ondulatória da matéria devido ao comportamento dos elétrons que, pertencentes a uma quantidade pequena de átomos, vibram em determinadas faixas de frequência. Esta limitação do movimento eletrônico é conhecida como *confinamento quântico*. Uma classe de nanomateriais que explora o efeito quântico é aquela dos chamados *quantum dots* ou *pontos quânticos*, que devido a suas dimensões diminutas se comportam como unidades atômicas individuais, atuando no espectro quântico de energia. Outro comportamento observável derivado do efeito quântico é o aparecimento de características magnéticas em materiais devido ao desemparelhamento de elétrons (Buzea et al., 2007).

Outro fenômeno que influencia a alteração das propriedades da matéria são os chamados *efeitos de superfície*. Ao reduzir-se um objeto à nanoescala, há um grande aumento da razão superfície/volume. Materiais nanoestruturados apresentam propriedades diferentes devido ao aumento da razão entre o número de átomos que estão na superfície e aqueles dispersos internamente em seu volume. Por este motivo, as interações físico-químicas são otimizadas devido à maior área de superfície. O efeito de superfície determina ainda alterações nas propriedades físicas, químicas, ópticas, elétricas, mecânicas e magnéticas de amostras nanoscópicas, como, por exemplo, cor,

condutividade elétrica e térmica, densidade, dureza, coeficiente de expansão térmica, reatividade química, etc. (Buzea et al., 2007).

O surgimento dessas novas propriedades tem sido bastante investigado em estudos sobre nanopartículas metálicas e orgânicas. O ouro, por exemplo, apresenta alterações de cor, menores temperaturas de fusão e propriedades magnéticas e reativas muito acentuadas frente à estabilidade usual do material (Sardar et al., 2009). Outras partículas metálicas como ferro e cobre, bem como moléculas orgânicas, também apresentam alteração de suas propriedades ópticas, magnéticas e fisicoquímicas quando manipuladas na escala nanométrica. A análise de novas propriedades de materiais já conhecidos visa explorar possibilidades de aplicações inovadoras destes materiais (Sanvicens, Marco, 2008).

Com a promessa de grandes avanços na nanotecnologia, surgiu uma série de “nano” áreas, indicadas por nomes como nanobiotecnologia, nanofísica, nanoquímica, nano-óptica, nanoeletrônica, nanorrobótica, nanomedicina, e que se referem às áreas tradicionais de conhecimento que incorporam materiais e dispositivos manipulados nanometricamente às suas práticas com o objetivo de explorar e se beneficiar de suas novas propriedades. Nanoeconomia, nanodireito e nanoética, por sua vez, aludem à potencial transformação de práticas, instituições, processos cognitivos e normativos abrangidas por seus respectivos âmbitos após a incorporação da nanotecnologia em nossa prática cotidiana.

Entretanto, alguns conceitos como nanopartículas, nanomateriais, materiais nanoestruturados e materiais nanoengenheirados merecem atenção especial para evitar confusões. As nanopartículas são partículas em que ao menos uma das dimensões é nanométrica, ou seja, ao menos uma das dimensões tem um tamanho entre 1 a 100 nm, correspondendo a estruturas atômicas e moleculares. Estas nanopartículas não são necessariamente produtos da ação humana e se encontram naturalmente dispersas no meio ambiente, como partículas de poeira e cinzas, por exemplo. Elas podem ser resultado de vários processos físicos conhecidos, como combustão e erosão. Pode-se afirmar também que a síntese de nanopartículas pelo homem não é nova e tem sido realizada de maneira não intencional ou ao menos não controlada há muito tempo. Exemplo é a utilização de ouro coloidal para a pintura de

vitrais já na Idade Média. É preciso, no entanto, diferenciar esta ocorrência prévia, na qual sua síntese não era controlada, de outro tipo de nanopartícula que é produzida atualmente de forma proposital, controlada, com instrumentos e objetivos determinados e proporcionados pela nanotecnologia. Desta forma, pode-se dizer que existem nanopartículas de origem ambiental ou de origem antrópica, de síntese acidental ou proposital e de origem nanotecnológica ou não (Buzea et al., 2007).

Já os conceitos de nanomateriais, materiais nanoestruturados, materiais nanoengenheirados referem-se todos à maneira de síntese desses materiais. Embora os processos e métodos, a constituição química e o estado físico desses materiais sejam muito diversos, todos eles são resultado da ação humana proposital e controlada, característica do que se chama de nanotecnologia, com todo o seu arsenal teórico e instrumental dedicado à exploração das novas propriedades derivadas da manipulação em nível nanoescalar. Por isso, enquanto é possível afirmar que há nanopartículas “naturais”, os nanomateriais são sempre sintetizados pelo homem (Buzea et al., 2007). É justamente a ação proposital e organizada para a transformação nanotecnológica da matéria que torna os produtos nanoestruturados distintos, do ponto de vista moral, de outras nanopartículas naturais ou previamente produzidas pelo homem.

Os materiais nanoestruturados, no entanto, não têm necessariamente escalas nanométricas, podem consistir em blocos microscópicos ou macroscópicos de um material que durante seu processo de fabricação sofreu algum tipo de estruturação ou manipulação em nível nanométrico. Eles podem ser utilizados para construir uma diversidade de produtos e dispositivos mais ou menos complexos, conhecidos por sua vez como nanoproductos e nanodispositivos, respectivamente (Buzea et al., 2007).

2.1.1. Materiais nanoestruturados: tipos e síntese

O universo de nanomateriais e suas aplicações é muito amplo. Há, atualmente, várias tentativas de se estabelecer uma classificação para os diferentes tipos de

nanomateriais. Estas propostas de classificação estão em contínua revisão e expansão, já que as capacidades técnicas de manipular os materiais já conhecidos e sintetizar novos compostos são crescentes.

Atualmente, dentre os principais tipos de nanomateriais encontram-se os derivados do carbono, como nanotubos de carbono, e fulerenos, que são usados na síntese de catalisadores, baterias e combustíveis, supercapacitores, sistemas de purificação de água, implantes ortopédicos, películas e filmes condutores, adesivos e compósitos, sensores e componentes das indústrias automobilística, aeronáutica, espacial e eletrônica. A produção de nanotubos de carbono em 2011 foi estimada em mil toneladas. É evidente que pelo menos uma primeira consequência desta produção industrial nanotecnológica pode ser evidenciada: o acelerado aumento da produção eleva a probabilidade de ocorrência de efeitos ambientais adversos por contaminação acidental ou clandestina (Klaine et al., 2008).

Outro grupo de nanomateriais importantes são os derivados metálicos, principalmente os óxidos metálicos; entre eles, o dióxido de titânio e o óxido de zinco. As aplicações dos óxidos metálicos são muito amplas: na indústria cosmética e de protetores solares, na fabricação de tintas, películas e vernizes, células solares, cerâmica, etc. (Klaine et al., 2008).

Uma terceira classe de materiais nanoestruturados é aquela dos nanocristais semicondutores ou *quantum dots*, constituídos de um núcleo que pode tanto ser formado por metais quanto por um material semicondutor e uma cápsula de sílica. São atualmente bastante usados para diagnósticos por imagem e para fins terapêuticos; adicionalmente, encontram aplicações em células fotovoltaicas para captação de energia solar, nas áreas de fotônica e telecomunicações (Klaine et al., 2008).

O quarto grupo de materiais são os metais zero-valentes, sintetizados a partir de sais metálicos. Entre eles encontra-se o ferro zero, altamente usado para fins de remediação de poluição ambiental por meio de remoção de nitratos da água, solo e sedimentos e para a detoxificação de meios contaminados por pesticidas organoclorados. A prata e o ouro em suas formas zero-valentes também são usados principalmente por suas propriedades antimicrobianas e como vetores em tratamento de tumores, respectivamente (Klaine et al., 2008).

Dentre os nanomateriais, destacam-se ainda os nanopolímeros, que podem ser usados por ramos da biologia, ciência dos materiais, química, entre outros. São polímeros que podem ter sua estrutura, flexibilidade, peso e tamanho molecular determinados de acordo com a função desejada. São usados para síntese de cápsulas, vidros coloridos, sensores químicos, eletrodos, agentes terapêuticos, mecanismos de liberação de drogas e chips de Ácido Desoxirribonucleico (DNA) (Klaine et al., 2008).

Apesar da diversidade de composição encontrada entre os diferentes tipos de materiais nanoestruturados, as formas de síntese apresentam padrões semelhantes. Elas podem ser agrupadas de acordo com o meio em que se produz o material: em fase de vapor (com a pirólise por laser seguida de deposição do material na forma de um filme fino), em fase líquida (processamento e agrupamento coloidal em camadas), em fase sólida (polimerização induzida por fótons para a cristalização de estruturas metálicas) e em fase híbrida (formação dos nanotubos com o envolvimento de todas estas fases). Os métodos de produção podem também ser classificados de acordo com o tipo de estrutura produzida: nanopartículas organizadas de forma coloidal, nanotubos, deposição de filmes ou camadas e os materiais nanoengenheirados (Cao, 2006).

No entanto, de forma mais usual, os métodos de produção de nanomateriais são categorizados como: técnicas *top-down* (“de cima para baixo”), que correspondem em geral a um processo litográfico que, por corrosão química de um bloco macroscópico, produz partículas nanométricas do objeto; e técnicas *bottom-up* (“de baixo para cima”), nas quais há uma deposição controlada e organizada de átomos e moléculas para a formação de estruturas definidas em nanoescala (Cao, 2006).

2.1.2. Materiais nanoestruturados: aplicações

Um levantamento da literatura revela que a maior parte dos artigos científicos sobre os nanomateriais refere-se à exploração das propriedades químicas de materiais como o ouro, o óxido de titânio, o silício e polímeros em geral, ressaltando propriedades morfológicas, ópticas, catalisadoras, e propriedades eletroquímicas de deposição,

absorção, oxidação, degradação e autorreplicação. Foram apontadas, principalmente, aplicações em óptica eletrônica, lubrificação, atrito e tribologia, litografia, sistemas de controle e microssistemas (Kostoff et al., 2008).

As novas propriedades encontradas em nanoescala podem contribuir significativamente para campos como a nanoeletrônica, informática e computação, por meio de propriedades magnéticas e propriedades dos semicondutores, por exemplo; na indústria aeronáutica e exploração espacial, com contribuições para sistemas de fornecimento de energia, promovendo a resistência ao calor e evitando efeitos gerados pelo vácuo e pela gravidade; na indústria química, produzindo de forma mais controlada compostos químicos já existentes ou explorando novas propriedades de configurações moleculares inéditas; na relação com o meio-ambiente e na geração e consumo de energia, com o uso de materiais ecologicamente mais favoráveis por causarem menos desperdício de matéria e de energia devido ao melhor controle da produção; para a defesa e indústria bélica, com a produção de sistemas de monitoramento e armas químicas; além da medicina com o desenvolvimento de técnicas nanocirúrgicas, terapia gênica, liberação das drogas e diagnóstico, terapia hipertérmica por meio de magnetismo, etc. (Kostoff et al., 2008).

2.2. NANOTECNOLOGIA: RETROSPECTIVA E EXPECTATIVAS

Como outros recentes avanços biotecnológicos, a nanotecnologia reclama para si o posto de tecnologia mais inovadora e revolucionária dos últimos tempos. Mas seus objetivos, métodos e produtos ainda são pouco conhecidos, pois a produção técnico-científica sobre o tema é bastante recente (Bostrom, 2007). Durante as duas últimas décadas, cientistas e engenheiros têm estudado e manipulado materiais em escala atômica e molecular convergindo para o estágio em que materiais e dispositivos nanoestruturados apresentam novas propriedades (Bhattacharyya et al., 2009). Esta convergência chegou a seu ápice há menos de 15 anos, quando, no período de um ano, o governo norte-americano aumentou em 56% o seu investimento no ramo, chegando a U\$ 422 milhões em 2000, despertando uma intensa competição pela

liderança científica mundial no campo (Stix, 2001). O orçamento governamental norte-americano de 2012 para as pesquisas na área está previsto para 2,1 bilhões de dólares, liderando o cenário de investimento mundial e representando 28% deste (NNI, 2011).

O início da nanociência remonta à busca por miniaturizar os objetos, tão em voga em meados do século XX, principalmente na microeletrônica e nas ciências da informação. Neste sentido, em dezembro de 1959, Richard Feynman, em uma conferência na reunião da Sociedade Americana de Física, se antecipa a habilidades que começarão a ser dominadas somente na primeira década do século XXI. Com o título *There's plenty of room at the bottom* (algo como “Há muito espaço lá no fundo”), aventa a possibilidade de manipular materiais em níveis de átomos e moléculas, como se fossem blocos de construção. Com o objetivo de armazenar informações de forma mais compacta e utilizá-las de forma mais rápida, de fabricar pequenos motores e de algumas outras formas de miniaturização, acaba por oferecer *insights* importantes, como o fato de que as leis físicas que regem as interações no mundo macroscópico não são as mesmas que determinariam as propriedades dos átomos (Feynman, 1961).

O autor, que posteriormente ganhou o prêmio Nobel por seu trabalho em eletrodinâmica quântica, na mesma palestra chegou a oferecer dois prêmios. Um destinado a quem conseguisse construir um motor elétrico que tivesse ao menos uma de suas dimensões medindo no máximo 64 avos ($1/64$) de polegada, que foi pago ainda em 1960, e outro para aquele que conseguisse compactar o texto de uma página a $1/25.000$ partes de seu tamanho, redução suficiente para que a enciclopédia britânica coubesse na cabeça de um prego. O último prêmio só foi recebido em 1985 (Keiper, 2003).

Apesar de ser considerado como o precursor do desenvolvimento da nanotecnologia, o discurso de Feynman não ganhou muita atenção da comunidade científica naquele momento. Passaram-se quinze anos somente para o surgimento do termo *nanotecnologia*. No entanto, quase todas as ideias apresentadas naquela conferência são, atualmente, intensamente estudadas por pesquisadores em todo o mundo (Mansoori, 2005).

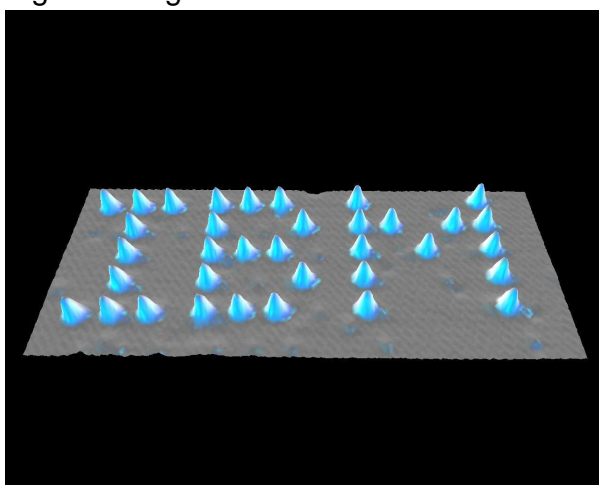
Este termo foi usado pela primeira vez em 1974 por Norio Taniguchi, um

pesquisador da universidade de Tóquio, para se referir à habilidade de produzir materiais em nanoescala. Ainda nos anos 1970, a empresa IBM deu os primeiros passos para o domínio dessa habilidade e inovou ao desenvolver dispositivos que, por meio de litografia, sintetizaram nanoestruturas com dimensões entre 40 e 70 nm (Sahoo et al., 2007).

Contudo, foi somente em 1981 que a nanotecnociência obteve definitivamente o instrumento que materializou seus métodos. Gerd Binnig e Heinrich Rohrer desenvolveram neste ano o microscópio de tunelamento, um aparelho que por meio de uma agulha muito fina e do uso de uma pequena corrente elétrica permite a análise das dimensões e disposições atômicas. Descobriu-se que uma pequena modificação permitia ao mesmo microscópio manipular e reposicionar os átomos de forma muito precisa. Este advento e, mais tarde, o desenvolvimento de outros dispositivos, como o microscópio de força atômica, por exemplo, possibilitaram uma grande precisão na caracterização, mensuração e manipulação de nanoestruturas e nanomateriais (Cao, 2006).

De posse destes instrumentos, um grupo de cientistas da companhia IBM, já em 1989, escreveu a sigla da empresa dispondo 35 átomos de xenônio (figura 1). Em 1991, foi desenvolvido pela mesma empresa um dispositivo usado como um interruptor atômico, passo importante para o desenvolvimento de dispositivos nanoescalares na informática (Keiper, 2003).

Figura 1. Sigla IBM escrita com átomos de xenônio



Fonte: IBM

A partir de então e – adicionalmente - após o lançamento do livro *Engines of Creation*, de Eric Drexler em 1986, a nanotecnologia ganhou destaque no contexto científico global (Doubleday, 2007). No entanto, só passou a ser conhecida pela população leiga mais tarde, devido a algumas obras de ficção científica, como a obra *Prey* em 2002. Escrita por Michael Crichton, o mesmo autor do livro que deu origem ao filme *Jurassic Park*, *Prey* é uma história sobre as ameaças tecnocientíficas, no caso nanorrobôs, à humanidade (Keiper, 2003).

Outro marco histórico recente de bastante impacto na percepção pública foi a capa da revista *Nature* que traz uma figura do “smile” (figura 2), um rosto sorridente estilizado, sintetizado a partir da técnica denominada *origami de DNA*. Esta se baseia no posicionamento proposital e controlado da molécula de DNA, desenhando, por assim dizer, várias figuras, entre elas o “smile” da capa (Rothemund, 2006).

Figura 2. Origami de DNA, capa da revista Nature de Número 440



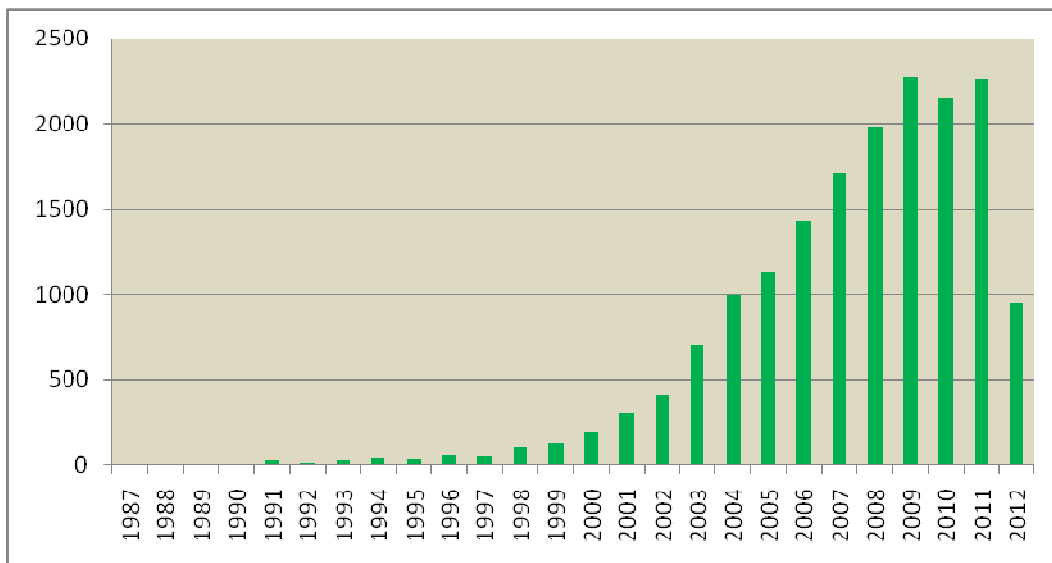
Fonte: Nature

Não se passou muito tempo para que a nanociência e a nanotecnologia demonstrassem sua importância no contexto acadêmico e seu potencial para o mercado. Atualmente, a internacionalmente reconhecida base de dados eletrônica *ISI/ Web of Knowledge* já registra 16.991 artigos acadêmicos sobre o tema (Web of Science, 2012). A figura 3 ilustra a publicação de artigos sobre nanotecnologia indexados pela base ao longo dos anos. Note-se que a aparente diminuição da

produção no ano de 2010 e 2012 pode se dever aos critérios de indexação dos artigos e ao fato de que o registro do artigo nesta base não é simultâneo à sua publicação, porque depende da recorrência com que o artigo é citado.

Houve um crescimento quase exponencial na produção mundial de artigos científicos sobre nanotecnologia, com um aumento anual médio de 16%. O investimento em pesquisa sobre o tema tomou contornos globais em 2004, quando mais de 60 países já possuíam programas nacionais de incentivo a pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia. Em 2006, o investimento global tomou novo fôlego com a participação mais intensa de países como Brasil, Índia e Rússia e outros países do Oriente Médio. No contexto norte-americano, o financiamento em nanotecnologia só perde para o programa espacial em termos de investimento público. A *National Nanotechnology Initiative* (NNI) norte-americana ofereceu um financiamento acumulado desde 2000 da ordem de U\$ 12 bilhões (Roco, 2011).

Figura 3. Artigos publicados mundialmente sobre nanotecnologia por ano



Fonte: Web of Science

O primeiro momento do processo de estabelecimento do campo científico foi marcado pelos esforços da comunidade acadêmica para acumular conhecimentos fundamentais sobre a nanoescala e catalogar nanocompostos e nanomateriais. Esta primeira fase, que se estendeu de 2000 a 2010, teve um impacto significativo na

indústria e resultou em um mercado de produtos tecnológicos de U\$ 300 bilhões em 2010. Esta primeira década de industrialização e comercialização nanotecnológica incluiu duas gerações de produtos. A primeira geração, predominante até 2005, corresponde à produção de nanoestruturas passivas, estáveis ao longo do tempo, como vernizes e películas e materiais como metais, polímeros e cerâmicas nanoestruturadas. Em 2006, as nanoestruturas ativas passaram a ganhar espaço. Estes produtos nanotecnológicos de segunda geração, de composição e estruturas mais complexas, baseiam sua função na mudança de composição ou estado com o uso, como nos casos das drogas de liberação direcionada e dos dispositivos de memória (Roco, 2011).

Atualmente, a nanotecnologia já foi incorporada pela medicina e por quase todos os setores industriais. O crescimento na produção de derivados nanotecnológicos é da ordem de 25% ao ano. Ademais, há uma estimativa de que o mercado global de produtos com nanotecnologia incorporada aumentará de U\$ 30 bilhões em 2000 para cerca de U\$ 3 trilhões em 2020 (Roco, 2011).

A pesquisa em nanotecnologia foi incorporada por diversas áreas como síntese de materiais avançados, biomedicina e produção farmacêutica, catálise e eletrônica. Encontra-se em expansão em campos como fontes energéticas e purificação da água, agricultura e florestamento, e se integra a novas áreas como sistemas quânticos de informação, engenharia neuromórfica (desenvolvimento de interfaces homem-máquina baseada em sistemas neurais artificiais) e nanobiologia. Também ofereceu contribuições teóricas e metodológicas para o surgimento de novas frentes de pesquisa como a spintrônica (o uso do spin do elétron como portador de dados em dispositivos de memória), plasmônica (campo que explora as interações entre superfícies metálicas e luz), nanoeletrônica carbônica, nanotecnologia de DNA (que usa DNA para a síntese e design de compostos) e nanossistemas moleculares. Todo este desenvolvimento científico já encontra ecos na vida cotidiana. Cerca de 10 drogas de liberação controlada estão sendo comercializados e mais de 50 fármacos para tratamento direcionado das células cancerígenas estão em etapa de testes clínicos nos Estados Unidos. Nesse país, os materiais nanoestruturados para catálise, sintetizados a partir de 2000, já representam 30 a 40% da indústria petrolífera e química. Semicondutores com dispositivos menores de 100 nm já representam 30% do mercado mundial e 60%

do mercado norte-americano (Roco, 2011).

Um relatório governamental norte-americano aponta as direções desejadas para a produção nanotecnológica futura. Para alcançar o desenvolvimento da terceira e quarta gerações de produtos nanotecnológicos com sucesso, o documento enfatiza a necessidade de focalizar o desenvolvimento tecnocientífico mundial nas seguintes ações: a integração do presente conhecimento sobre a nanoescala para a produção de nanossistemas de caráter complexo e programável; melhor controle da auto-organização (*self-assembly*) molecular e do comportamento quântico para a criação de novos materiais e moléculas a partir de design computacional; entender os processos biológicos e as interfaces nanobiológicas com materiais sintéticos para o conhecimento de seus impactos e usos na saúde; e, finalmente, criar mecanismos de controle para aumentar a inovação por meio de parcerias público-privadas em pesquisa sobre novos produtos e sobre formas de garantir a segurança e equidade social na produção nanotecnológica (Roco et al., 2010).

O segundo momento da produção nanotecnológica iniciado nesta década será provavelmente caracterizado por mensurações e resoluções mais precisas, com o controle de processos nanoescalares e desenvolvimento computacional de nanossistemas mais complexos e ainda mais dinâmicos. Nesta segunda década, espera-se que o desenvolvimento nanotecnológico dê origem à terceira e à quarta geração de produtos. A terceira geração de produção nanotecnológica, que já apresenta alguns avanços iniciais desde 2010, corresponde à síntese de nanossistemas integrados com componentes heterogêneos em três dimensões. Com grande destaque para a engenharia molecular, a terceira geração focalizará a auto-organização (*self-assembly*) molecular, síntese de tecidos e sistemas sensoriais artificiais, interações quânticas nos sistemas nanoescalares, processamento de dados utilizando fótons e spins elétricos, sistemas nanoeletromecânicos e outras plataformas de tecnologias convergentes. A quarta geração, esperada para o período entre 2015 a 2020, representará a síntese controlada de nanossistemas moleculares, em que componentes moleculares engenheirados substituirão componentes maiores utilizados atualmente em diversos dispositivos de memória, por exemplo. Da arquitetura diferenciada das moléculas são esperadas novas funções e propriedades, o que

possibilitará construir máquinas nanoescalares, explorar o controle quântico, utilizar nanossistemas biológicos na saúde e na agricultura e entender melhor as interfaces homem-máquina nos níveis tecidual e de sistema nervoso (Roco, 2011).

De forma incontestável, segundo Roco (2011), a nanotecnologia teve um significativo avanço nos últimos anos e está destinada a produzir novas gerações de produtos, cada vez mais complexos e dinâmicos. Os produtos de primeira geração, inicialmente baseados em compostos estáveis ao longo do tempo, darão lugar à segunda geração de estruturas nanotecnológicas, cuja mudança programada de conformação é a base para seu funcionamento. A nanotecnologia proporcionará a produção de sistemas integrados na terceira geração, e produtos de quarta geração baseados em engenharia molecular com os mais diversos fins, inclusive os de criar interfaces com tecidos humanos. Ainda que a maior parte do discurso sobre o desenvolvimento nanotecnológico resume-se a previsões, o autor enfatiza que a nanotecnologia já é determinante para a produção de ramos tão diversos como a indústria automobilística e a farmacêutica.

Frente aos significativos avanços até o momento e à grande expectativa quanto às aplicações futuras, é subestimado - nem sempre de forma involuntária- o fato de que, como qualquer outra nova tecnologia, a nanotecnologia pode oferecer tanto novos benefícios significativos como expor a saúde humana e o ambiente a riscos consideráveis (Best et al., 2006).

2.3. NANOTECNOLOGIA, SAÚDE E MEIO-AMBIENTE

Com o objetivo de analisar a potencialidade tóxica das nanopartículas surgiu o campo da nanotoxicologia. Derivado dos estudos sobre partículas ultrafinas e patologias pulmonares por aspiração de fibras, o campo já aponta algumas teorias e princípios relacionados à toxicidade das nanopartículas produzidas atualmente. As pesquisas em nanotoxicologia, ainda em seus primórdios, têm sugerido que a diminuição da dimensão, com o conseqüente aumento da razão de superfície/volume, torna os compostos quimicamente mais reativos devido ao aumento de sua superfície

de contato, o que acelera a disseminação das partículas em solução. Adicionalmente, o tamanho das partículas facilita sua passagem pelas membranas celulares e outras membranas intracelulares, como a nuclear, por exemplo. No conteúdo citoplasmático, as partículas podem interagir e até mesmo hibridizar com estruturas subcelulares, como microtúbulos e DNA. Há indícios de uma intensificação das respostas fisiológicas e patológicas à presença das nanopartículas, quando comparadas a partículas que não sofreram o mesmo processo de síntese e estruturação. Foram relatados efeitos como aumento da resposta inflamatória, fibrose, respostas alérgicas, genotoxicidade, carcinogenicidade e, em estudos preliminares em animais, foram afetadas as funções cardiovascular e linfática (Hubbs et al., 2011).

As nanopartículas em altas concentrações têm tendência à autoagregação molecular. No interior dos tecidos vivos, esses agregados são facilmente identificados e disparam respostas imunológicas e inflamatórias. A maior parte dos agregados são eficientemente fagocitados por macrófagos. No entanto, estudos com animais demonstram que pequenas concentrações de nanopartículas de dimensões menores do que 30 nm não são fagocitadas e podem ser encontradas em curto intervalo de tempo na corrente sanguínea e no cérebro (Buzea et al., 2007).

A maneira como as nanopartículas induzem a resposta inflamatória ainda não está completamente esclarecida, mas a principal explicação até o momento é que, por meio da indução de produção de radicais de oxigênio, as nanopartículas causam estresse oxidativo de forma mais intensa do que partículas maiores. Os radicais de oxigênio induzem a resposta inflamatória mediada por citocinas e causam dano no DNA, provocando mutações e genotoxicidade (Buzea et al., 2007).

Em um contexto sistêmico, muitos estudos têm apontado para um papel importante das vias respiratórias nos mecanismos de nanotoxicidade. A inalação contínua de nanopartículas insolúveis leva a seu crescente acúmulo nos pulmões e à sobrecarga da função fagocitária. Esse acúmulo leva a danos teciduais dependentes do tempo e quantidade de exposição, podendo variar de fibrose a respostas neoplásicas. A via respiratória é também uma passagem para o sistema nervoso, devido aos terminais nervosos olfativos nas vias aéreas superiores (Buzea et al., 2007).

As nanopartículas podem ainda ter acesso ao sistema nervoso por meio da

absorção epitelial e dérmica e por meio da passagem seletiva de nanopartículas de carga positiva, como fulerenos e óxido de titânio, pela barreira hematoencefálica. Devido a fatores complexos que determinam falha no balanço homeostático das partículas metálicas necessárias para o funcionamento cerebral, o acúmulo de partículas metálicas exerce um importante papel na gênese de patologias neurodegenerativas como Alzheimer, Parkinson e Pick (Buzea et al., 2007).

As nanopartículas podem ainda ser absorvidas por meio da ingestão gastrointestinal e por meio de implantes e injeções endovenosas. Transportadas pela corrente sanguínea, as nanopartículas podem ter efeitos tóxicos por interação direta com as células sanguíneas ou entrarem em contato com outros tecidos, órgãos e sistemas, como fígado, baço, rins e sistema linfático, podendo causar danos celulares e teciduais (Buzea et al., 2007).

No entanto, algumas nanopartículas apresentam propriedades desejáveis como função antimicrobiana, como no caso da prata, por exemplo. A prata e os fulerenos parecem também ter um efeito antiviral contra o HIV (Vírus da Imunodeficiência Humana) por meio de mecanismos competitivos que inibem a reprodução viral (Buzea et al., 2007). Essas propriedades desejáveis das nanopartículas para a saúde e a contribuição da nanotecnologia para os mais diversos ramos tecnológicos industriais, atualmente, fazem com que consumidores e trabalhadores estejam cada vez mais expostos ao contato com os materiais nanoestruturados (Kuhlbusch et al., 2011).

A exposição aos nanomateriais e nanopartículas pode ocorrer em diferentes contextos, por contato com roupas e produtos químicos, pela ingestão de medicamentos e pela inalação. A preocupação com a inalação adquire proporções ainda maiores devido à exposição massiva e continuada de trabalhadores das indústrias e moradores das zonas industriais. Devido ao estágio inicial da produção nanotecnológica, os estudos produzidos até o momento são uma combinação de métodos de aferição de espaços reais de trabalho e simulações em laboratório. São estudadas contaminações por pós, suspensões, películas, vernizes e compósitos. Os principais materiais estudados são carvão, nanotubos de carbono, nanofibras de carbono, fulerenos, prata, óxido de titânio, óxido de silício, óxido de alumínio, metais e outros óxidos metálicos (Kuhlbusch et al., 2011).

A toxicidade das nanopartículas e dos materiais nanoestruturados depende de uma interação complexa de fatores como tamanho, concentração, tempo de exposição, estado sistêmico e predisposições do organismo exposto (Buzea et al., 2007). No entanto, seria um erro afirmar que os mecanismos de toxicidade das nanopartículas são plenamente conhecidos (Proffitt, 2004). Isso se dá porque aquilo que faz a nanotecnologia parecer tão promissora - o comportamento diverso das nanopartículas em relação às formas brutas do mesmo material - ao mesmo tempo torna seus potenciais efeitos sobre a saúde e sobre o meio-ambiente imprevisíveis (Service, 2004a).

O desconhecimento parcial das propriedades dos materiais é conjugado à defasagem por parte dos organismos nacionais e internacionais de regulação, que levam em conta a composição química dos elementos e não sua conformação. A utilização da composição como parâmetro de análise em detrimento da conformação química remonta a uma regulação de novos produtos químicos, baseada em um modelo industrial anterior à nanotecnologia, e torna-se particularmente preocupante no panorama atual. Isto porque, no caso de ter sido sintetizado a partir de um composto químico conhecido, um produto nanotecnológico pode chegar às mãos do consumidor sem que sua entrada no mercado tenha sido condicionada ao fornecimento de informações sobre suas condições de produção e de segurança. Apesar dos estudos científicos que apontam repetidamente para as novas propriedades e perfis de toxicidade diversos relacionados à manipulação nanoescalar dos materiais, as agências e mecanismos de controle e regulação têm negligenciado este aspecto, mantendo os mesmos sistemas de classificação e testes usados em outros materiais, considerando novos materiais nanoestruturados como bioequivalentes a seus materiais brutos correspondentes. Esta defasagem dos mecanismos reguladores possibilita que um novo composto nanoestruturado chegue ao mercado de medicamentos, por exemplo, sem passar por novos testes de toxicidade, sendo que as reações orgânicas podem ser completamente diversas (Raj, 2011). Atualmente, existem algumas iniciativas, ainda em estágios muito iniciais, de promover mecanismos reguladores mais adequados à nanotecnologia que, no entanto, ainda buscam sistematizar meios e métodos de determinar quais nanomateriais serão testados e como (Hamburg, 2012).

Até mesmo os padrões de normalidade e anormalidade dos testes toxicológicos e imunológicos podem não ser completamente adequados aos materiais nanoestruturados. Isto porque não são conhecidas as relações entre tempo e exposição necessárias para que os materiais nanoestruturados gerem algum tipo de resposta inflamatória ou se há inclusive a possibilidade de novos tipos de resposta, com eventos nunca observados em reações a partículas macro e microscópicas. Vale aqui lembrar que a nanotecnologia torna-se um campo científico no momento em que se constata que o mesmo instrumento que analisa o objeto, o manipula e altera, gerando novos comportamentos a se analisar. Por consequência, as análises toxicológica e imunológica de produtos nanoestruturados podem estar sujeitas a novas regras ou precisar interpretar diversamente padrões conhecidos (Shrader-Frechette, 2007; Stern, McNeil, 2008).

Os impactos, positivos ou negativos, das aplicações nanotecnológicas não se limitam aos seres humanos, sendo a questão ambiental um tópico bastante enfatizado quando a pauta é nanotecnologia. A produção de tecnologias e produtos com impacto ambiental diminuído, como dispositivos para captação de energia fotovoltaica, por exemplo, é uma das principais vertentes à qual se dedica a nanotecnologia. Destacam-se os nanomateriais orgânicos ou derivados do carbono, que têm sido empregados no desenvolvimento de dispositivos para absorção, filtração e controle de patógenos, na fabricação de sensores ambientais e de mecanismos para captação e armazenamento de energia renovável e na prevenção da poluição ambiental (Mauter, Elimelech, 2008).

Contudo, nem todos os tipos e tampouco todos os usos dos materiais nanoestruturados trazem resultados ambientais positivos. A produção e o uso dos materiais nanoestruturados e sua consequente liberação no meio-ambiente precederam a necessária avaliação do impacto para os ecossistemas. Atualmente não há dados sobre as concentrações destes materiais no meio-ambiente, sobre sua distribuição ou sobre suas formas físico-químicas quando em contato com os diferentes ecossistemas. É necessário ainda desenvolver técnicas de identificação e mensuração desses materiais em meios atmosféricos, aquáticos e terrestres, já que as abordagens clássicas não consideram as novas características de comportamento, destinação, biodisponibilidade e toxicidade dos novos materiais. É sugerido que uma abordagem

próxima àquela dos colóides pode ser efetiva devido à semelhança de características com as nanopartículas (Klaine et al., 2008).

As nanopartículas livres no ambiente serão certamente absorvidas pelos organismos vivos, nos quais poderão causar danos celulares possivelmente mediados por mecanismos como o rompimento das membranas, oxidação das proteínas, interrupção da energia de transdução, formação de radicais reativos de oxigênio, genotoxicidade e liberação de mediadores tóxicos. Esses mecanismos podem variar de acordo com o tipo de material, com o meio contaminado e com o organismo afetado (Klaine et al., 2008).

Os rápidos avanços da nanotecnologia e seus potenciais impactos sobre a saúde e o meio-ambiente - exemplificados acima - são os aspectos mais frequentemente abordados pela produção científica sobre o tema, devido a suas implicações éticas. No entanto, nem as discussões e tampouco as consequências éticas das aplicações nanotecnológicas reduzem-se aos campos da saúde e da ecologia. Com efeito, a emergência da nanotecnologia no panorama mundial atual traz à tona questões relacionadas à equidade na distribuição dos benefícios e acesso aos avanços tecnocientíficos, implicações quanto à privacidade e segurança (equipamentos de monitoramento invisíveis e infinitas possibilidades para a indústria bélica), consequências sociais, culturais e econômicas da modificação da constituição de seres vivos, etc. (Salvarezza, 2003).

3

ÉTICA E NANOTECNOLOGIA

Em uma tecnologia anunciada como revolucionária pelos próprios cientistas, há muito mais a analisar eticamente do que meramente seus impactos para a saúde humana e o ambiente. Entre os aspectos sociais, econômicos e culturais relacionados à nanotecnologia abordados neste capítulo, um em especial, a questão da condição humana, será apontado como o de maior interesse bioético.

Antes de falar sobre a relação com a questão da condição humana propriamente, a nanotecnologia é contextualizada dentro do paradigma biotecnocientífico e como objeto de análise para a bioética. É oferecido, então, um panorama sobre as principais abordagens e consequências éticas presentes no atual debate ético sobre a nanotecnologia.

A exposição deste cenário mais amplo sobre a reflexão ética da nanotecnologia revela que o caráter revolucionário desta nova tecnologia se refere justamente àquilo que tange à condição humana.

3.1. ANÁLISE ÉTICA DA NANOTECNOLOGIA: POR QUE A BIOÉTICA?

Diante da complexidade das questões levantadas por uma tecnologia que se enuncia como revolucionária, é comum a defesa de que a nanotecnologia demanda uma forma também nova de problematizar seus aspectos éticos. Neste contexto surge a nanoética. Esta seria uma nova disciplina científica dedicada a refletir sobre os aspectos sociais, morais e, de uma forma ampla, os efeitos da nanotecnologia para a humanidade (Keiper, 2007; Allhoff, 2007).

A frequente comparação entre a nanoética e a bioética é bastante propositada, devido às semelhanças históricas, retóricas e metodológicas destes movimentos culturais e científicos. No entanto, a nanoética, como a nanotecnologia, já surge sob bastante polêmica. Entre as críticas mais comuns, argumenta-se que a nanotecnologia não impõe nenhuma questão ética realmente nova e que suas possíveis implicações são as mesmas já relacionadas a outros avanços tecnológicos recentes (Ferrari, 2010).

Ainda no caso em que a nanoética falhe em apontar novas questões éticas, isto não significa que a nanotecnologia não demande atenção ética. Se as questões éticas postas são as mesmas referentes aos anteriores avanços tecnocientíficos, significa apenas que estas questões seguem necessitando de uma resposta (Allhoff, 2007). Desta forma, é necessário recorrer aos mesmos questionamentos, caso eles ajudem a elucidar o fenômeno. Ou, dito de outra maneira, para a análise ética das nanotecnologias não são necessárias novas perguntas, mas uma maneira renovada de abordar os avanços tecnocientíficos (Khushf, 2007).

Assim, se as mesmas respostas e os mesmos modelos que não ilustravam completamente o fenômeno analisado são dispensáveis, certamente, a preocupação ética permanece fundamental. Mas tal preocupação deverá ter em conta a compreensão mais ampla do paradigma biotecnocientífico, que determina objetivos, meios e recepção social das novas biotecnologias (Schramm, 1996), em geral, e da nanotecnologia, em específico, o que se apresenta como uma alternativa à frequente abordagem majoritariamente especulativa da nanoética (Nordmann, 2007). Em suma, no caso da nanotecnologia teremos a ver com análises que remetem, simultaneamente, ao paradigma biotecnocientífico e ao paradigma bioético, pois os dois paradigmas constituem o contexto mais amplo em que os eventuais problemas epistemológicos e morais devem ser inscritos.

Esse exercício de contextualização da nanotecnologia revela aspectos importantes para sua análise ética e oferece uma alternativa à mera especulação. A comparação com outros avanços tecnológicos recentes revela, por exemplo, que a proposta da nanotecnologia de organizar o mundo desde sua menor unidade não é nova. A pressuposição da existência de uma unidade ou informação primordial sobre a qual a tecnociência interfere não é exclusiva da nanotecnologia. Ao propor uma

intervenção que organiza a matéria átomo a átomo, a nanotecnologia retoma a atitude epistêmica do determinismo que permeia a ciência desde o atomismo de Dalton e a física Newtoniana e segue até os dias de hoje na genética (Osorio, 2000).

A contextualização da nanotecnologia revela que o determinismo que a anima se fundamenta na busca de uma causa ou lei que explica todos os fenômenos de forma a torná-los passíveis de modificação. Este intento, conforme mencionado, não é uma novidade da nanotecnologia, mas constitui a motivação de tantos outros recentes avanços biotecnocientíficos, como a pesquisa com células tronco embrionárias que busca em uma célula indiferenciada a potencialidade de gerar todos os tipos celulares funcionais de um organismo. Este tipo de saber-fazer tem como projeto uma intervenção que incide sobre um código ou informação programadora, uma unidade fundamental que pré-determina as conformações que se desejam modificar.

Resumidamente, a nanotecnologia, como saber-fazer, supõe a possibilidade de conhecer quais são os invariantes do real (no caso, os átomos) e as leis que regem seus comportamentos para, então, controlar e modificar esta realidade.

O exemplo máximo desta busca pelo controle absoluto desde a menor unidade da realidade é o fenômeno da grande importância que o DNA tomou em nossa sociedade. Com efeito, no DNA estariam inscritas todas as características humanas, biológicas e de comportamento, e sobre ele se dariam as futuras e mais eficazes intervenções sobre a saúde e a personalidade. Desta maneira, o conhecimento sobre o genoma humano levaria a uma capacidade de localizar o gene (ou o conjunto deles) responsável por cada uma das características humanas, inclusive as características psicológicas e de comportamento, o que poderia eventualmente servir para modificá-las (Sibilia, 2008).

O que se demonstra, portanto, com este exercício de contextualização é que a atuação de instrumentos sobre objetos científicos, entendidos como uma unidade fundamental, no intuito de programar e transformar previamente os eventos sobre os quais se deseja interferir, é atitude fundante para a tecnociência atual. Esta postura, por bem da verdade, é característica do próprio empreendimento científico que parte da suposição de uma verdade última, uma regra única, de alguma forma absolutamente válida, verdadeira e objetiva, que rege todo o universo (Gleiser, 1997; Koyrè, 1991).

Assim, como alternativa ao exercício de tentar prever o que deriva como consequência ética do cumprimento das promessas da nanotecnologia; a contextualização nos demonstra que estas promessas não são novas e nem o medo e fascínio a elas relacionados.

Neste cenário, à bioética não basta tentar prever os efeitos tóxicos de novos materiais e artefatos técnicos, numa espécie de análise comparativa de riscos e danos de tipo biológico. Cabe, igualmente, investigar as possíveis implicações éticas dos avanços biotecnocientíficos num sentido mais amplo, que inclui os aspectos sociais e ambientais, presentes e futuros, ao mesmo tempo em que se busca promover um olhar sóbrio sobre as percepções sociais de tais artefatos, seus riscos e benefícios, sem incorrer em simplificações tecnofílicas e tecnofóbicas. Ou seja, a bioética serve, em nosso caso, como uma caixa de ferramentas interdisciplinar para encarar os desafios impostos pela biotecnociência, provendo uma leitura racional e imparcial sobre as possíveis transformações causadas pelos artefatos do paradigma biotecnocientífico, como as biotecnologias (Schramm, 2010b), mas também a nanotecnologia.

A bioética, assim, não parte de uma perspectiva tecnofílica que subestima os riscos e superestima o caráter positivo das biotecnologias, exaltando-as como possíveis libertadoras das limitações e vulnerabilidades humanas. Mas também não se apresenta com uma visão tecnofóbica que defende a interdição de qualquer tecnologia que tenha o potencial de ameaçar os interesses das próximas gerações. Em suma, a Bioética deve servir como paradigma descritivo e normativo de referência no diálogo com o paradigma biotecnocientífico, ao buscar analisar, de forma crítica e imparcial, os argumentos e os tipos de justificativa a favor e contra a utilização dos artefatos biotecnocientíficos (Schramm, 2010b).

A vigência da biotecnociência como paradigma, ao mesmo tempo técnico e cognitivo, da atividade humana, parece ser uma expressão clara de que, atualmente, a principal motivação da prática tecnocientífica não é o domínio do conhecimento sobre um tema ou problema (um saber), mas sobre uma prática técnica (um saber-fazer) que almeja favorecer determinados objetivos. Nestes, busca-se, sobretudo, a inovação, produto da vinculação irreversível entre a experimentação e o mercado, e que produz, como resultado, uma relação entre o saber e o poder que nunca foi tão concentrada e

eficiente na modificação, controle e reprodução da vida. Com isso, as estratégias de biopolítica e de biopoder – concebidos, grosso modo, como o controle das populações e dos indivíduos baseado no poder de fazer viver de uma determinada maneira, pré-estabelecida, e de deixar morrer (Foucault, 2010) – fazem com que as práticas científicas ganhem um status de prestígio social praticamente inquestionável (Novaes, 2003). Em suma, esta realidade que atinge a todos, em seus jogos complexos de (bio)poder, caracteriza o paradigma biotecnocientífico que, com suas implicações morais, é um dos tópicos mais importantes das sociedades contemporâneas e um dos principais objetos a que se dedica a Bioética (Schramm, 1996).

3.1.1. Paradigma biotecnocientífico: breve histórico

O presente panorama científico se caracteriza pela busca de um controle absoluto na compreensão e modificação do corpo. Apesar das críticas à pretensão de explicar todas as dimensões da existência a partir da informação contida no material genético, nunca antes o sonho de controlar e de transformar os processos vitais pareceu tão plausível. Assim sendo, a modelação e remodelação dos corpos, praticada desde tempos imemoráveis, está novamente em pauta, mas não como antes, pois a proposta de intervenção biotecnocientífica é muito mais precisa e, supostamente por isso, muito mais eficaz, visto que se daria a partir de dentro do corpo; isto é, a partir de seu código “programador” (Sibilia, 2002).

Entretanto, a intervenção nos corpos e a introjeção cada vez mais frequente de agentes artificiais trazem efeitos que ultrapassam sua potencial toxicidade conhecida ou previsível; ou seja, as possíveis implicações do uso de produtos biotecnológicos vão muito além dos riscos à saúde humana: à medida que estabelecem trocas mais fluidas e íntimas com o organismo, dissolvem-se ainda mais as fronteiras já pouco nítidas entre os agentes sintéticos e os orgânicos, e, também, os limites entre o natural e o artificial. Entendido agora como um poder de fazer viver que alonga a vida humana coletiva por meio de técnicas e argumentos biológicos sofisticados, o biopoder se manifesta como

nunca. Neste sentido, ao enunciar que a evolução tecnológica é mais rápida e eficiente do que a seleção natural, o biopoder se torna aquilo que pode em princípio nos liberar das limitações e contingências do acaso na determinação do desenvolvimento de nossa espécie, pois o biopoder mediado pela biologia não só faz viver, mas promete fazê-lo melhor do que a própria natureza (Sibilia, 2002).

Esta busca pelo conhecimento e controle pleno sobre o funcionamento dos corpos não é objetivo novo da ciência deste século ou do anterior. De fato, as atuais configurações do paradigma biotecnocientífico e do biopoder são frutos de um processo marcado por duas grandes rupturas. A primeira delas se dá pela transformação da relação entre vida, morte e poder das sociedades pré-industriais. Com efeito, nestas o poder assentava-se – de acordo com Foucault - sobre a prerrogativa de fazer morrer e de deixar viver, sobre o direito de confisco por parte do soberano, que incluía apreensões de bens, corpos, tempo e vidas. O advento do século XIX, no entanto, enunciou um tipo de poder completamente distinto, fundamental para o desenvolvimento do capitalismo e destinado a fazer crescer e ordenar forças de produção, assentado na prerrogativa de fazer viver e deixar morrer, denominada biopoder (Foucault, 2010).

Neste contexto, em que o poder derivava da capacidade de promover a vida, em vez de tirá-la, os dispositivos mecânicos que automatizaram profundamente diversas funções de produção após a Revolução Industrial transferiram seus ritmos para os corpos e as rotinas dos homens. A partir deste momento, a metáfora do relógio usada por Descartes para explicar o funcionamento dos organismos vivos passou a ditar a cadência do mundo; ou seja, o relógio passa a ser o modelo para a explicação do funcionamento dos organismos vivos, inclusive o do corpo humano. Com a contribuição fundamental de Newton, a pretensão cartesiana de conceber uma teoria geral dos fenômenos naturais se realizou. A mecânica newtoniana não somente explica qualquer fenômeno físico, mas afirma ser capaz de prever o futuro de qualquer parte da gigantesca máquina cósmica que é o Universo por meio da Lei da Gravitação Universal. Segundo esta lei, o Universo uma vez iniciado continua por si mesmo devido à atração entre as massas dos objetos. Desta forma, o homem passa a habitar um Universo que dispensa maiores intervenções divinas (Koyrè, 1991).

O corpo morto pareceu, então, enquadrar-se perfeitamente nas explicações oferecidas pelo modelo mecanicista. O corpo vivo, incompreensível e imprevisível no quadro do paradigma mecanicista, teve que ser partido. A dúvida, como ponto fundamental do método cartesiano, levou ao questionamento da existência das sensações físicas e do próprio corpo, o que levou Descartes à conclusão de que a única evidência inegável de sua existência era seu pensamento e que, portanto, seria a capacidade de pensar a expressão máxima da essência humana (Koyrè, 1991).

Esta separação cartesiana entre mente e corpo tornou-se fundante para o pensamento ocidental. Ao corpo e à matéria foi reservado um espaço de segunda classe: enquanto a mente e a capacidade de pensar revelariam o conhecimento da verdade, o corpo seria somente uma máquina e poderia ser explicado pelas mesmas leis mecânicas que governavam o resto do universo material (Koyrè, 1991).

Posteriormente, as sociedades de controle e a disciplina dos corpos sofrem algumas mutações. Os dispositivos de poder tornam-se mais sutis e aparentemente mais eficazes. Esta segunda grande ruptura é desencadeada pela revolução biológica, a descoberta do código genético que precedeu uma série de outras biotecnologias, às quais se uniu recentemente a nanotecnologia (Sibilia, 2002).

Neste novo contexto cultural, as técnicas disciplinares se tornam mais sofisticadas, mimetizam o mercado e adaptam-se à sociedade da informação. Neste capitalismo, agora “pós-industrial”, o trabalho perde o lugar de categoria central na vida social e a propriedade material deixa de ser a principal fonte de poder. Assim, uma nova ordem é estabelecida em que o conhecimento, matriz da inovação e do desenvolvimento, se torna a fonte de poder (Bell, 1974). Neste novo cenário, os corpos são definidos e modelados de outra maneira: a partir da informação; e os mecanismos de biopoder se tornam substrato de uma nova ordem mundial em que o papel do Estado é diminuído e se delineiam estruturas mais fluidas e globalizadas de submissão da sociedade ao capital (Hardt, Negri, 2001). O biopoder perdura nesta nova fase, a dinâmica do fazer viver e deixar morrer permanece, mas com mecanismos mais sutis, baseados na manipulação da informação de modo a fazer viver uma vida mais “pura” e sadia.

No entanto, esta escolha de quem é deixado morrer e dos instrumentos

sofisticados de manutenção da vida de quem é feito viver passa a pertencer à biologia. Juntamente a ela, as ciências da informação ganham um papel fundamental nesta nova configuração do biopoder. Em um contexto em que a mente humana se torna a principal força de produção, a função das novas tecnologias passa a ser o processamento de informações, fundamentado em uma linguagem digital por meio da qual a informação é gerada, armazenada e transmitida. Em um contexto onde a linguagem digital permeia tanto a informática quanto a biologia, e o tratamento das informações passa a ser um objetivo principal comum (Braga, Vlach, 2004), é o código – genético -, e não o funcionamento de peças e engrenagens, que explica a vida (Sibilia, 2002).

A descoberta do código genético e a possibilidade de programá-lo em função dos desejos e projetos humanos reconfigura o saber científico e suas potencialidades. Ao aliar as tecnologias da informação à biologia, formula-se um saber-fazer que não se limita a compreender e descrever a vida, mas intenta transformá-la a partir da informação da qual deriva: é estabelecida a biotecnociência (Schramm, 1996).

Assim, a biotecnociência se dedica às tarefas de prever, controlar e intervir, mas não como antes, sobre o *hardware*. A biologia incorpora a lógica das ciências da informação e passa a agir sobre as informações, sobre o *software*, graças a métodos de contínuo monitoramento (Sibilia, 2002).

Obviamente, estas transformações epistemológicas, tecnológicas e antropológicas, anunciadas pelos avanços do saber-fazer biotecnocientífico, geram desdobramentos morais importantes que motivaram o surgimento e florescimento da própria Bioética (Schramm, 1997).

3.1.2. Nanotecnologia, paradigma biotecnocientífico e paradigma bioético

Temos assistido a ciência tornar-se, por meio de uma série de transformações ocorridas principalmente a partir da metade do Século XX, cada vez mais tecnociência, um saber-fazer cujo principal objetivo é a ação concreta sobre problemas. Neste

contexto, a biotecnociência consiste em um tipo de conhecimento racional e procedural resultante dos progressos do campo biológico, principalmente nas subáreas da biologia molecular, da bioquímica, da genética e das neurociências. É neste quadro que se institui o chamado paradigma biotecnocientífico, caracterizado pelo exponencial avanço biotecnológico (Schramm, 1997).

Neste contexto, assistimos também a uma profunda transformação na ética: a emergência do paradigma bioético, cujo refletir sobre os desdobramentos morais do paradigma biotecnocientífico é marcado por um afastamento progressivo das ideologias universalistas e dos absolutos morais comuns às religiões. Apesar da maior produção biotecnocientífica quando comparada àquela da bioética, os dois paradigmas evoluem conjuntamente e interagem por interferências mútuas (Schramm, 1997).

Com efeito, a abordagem das questões derivadas do grande desenvolvimento biotecnocientífico dos últimos cinquenta anos constitui um dos principais enfoques da Bioética (Berlinguer, 2004). Garrafa e Porto (2003) dão o nome de Bioética de Situações Emergentes a esta linha de pesquisa e incluem, nesta categoria, temas como o Projeto Genoma Humano e a engenharia genética; a doação e o transplante de órgãos e tecidos humanos; a fecundação assistida e as tecnologias reprodutivas; a clonagem; e, também, o controle ético das pesquisas com seres humanos e as questões relacionadas à biossegurança.

Resultado do paradigma biotecnocientífico, a nanociência representa uma tentativa de se apropriar de um território até agora inexplorado do mundo, a nanoescala. Neste cenário, tem seu sucesso verificado a partir da realização técnica: a habilidade de agir em nanoescala, de ver, de se mover e mover coisas, gravar o nome em uma molécula. Isto significa que a nanociência não é “ciência” própria ou tradicionalmente falando, isto é, mera produção logoteórica, certamente importante para entender o real e produzir conhecimento, mas propriamente tecnociência, na qual não há separação entre a representação teórica e a intervenção técnica, entre entender a natureza e transformá-la, embora seja sempre possível distingui-las. Assim seria mais apropriado, falar de *nanotecnociência*. Esta constitui um fenômeno complexo, resultado da convergência de configurações científicas, tecnológicas, políticas e econômicas. Este imbricado de relações cria um espaço maior para a integração entre as reflexões

éticas e filosóficas e a prática científica, devido à sua natureza transdisciplinar e à maior presença de pressões políticas e sociais sobre o processo de produção de conhecimento científico (Jotterand, 2005).

Este nível de integração é típico também da bioética, que surgiu no bojo da emergência dos movimentos culturais e políticos de luta pelos direitos civis dos anos 60 (Mori, 2010), mas também como resposta aos avanços científicos derivados da revolução biológica. Esta revolução prático-cognitiva, representada pela descoberta da molécula de Ácido Desoxirribonucleico (DNA) e de sua relação com a hereditariedade genética, teve repercussões fundamentais para as *biotecnologias modernas*, que passam a utilizar técnicas derivadas do conhecimento sobre genética para alterar os organismos vivos com fins inclusive comerciais (Schramm, 1999; Brink et al., 2004). É neste contexto em que surge a bioética, em sua forma de refletir os conflitos e de interrogar o que “devo fazer” frente ao que “posso fazer” (Neves, 1996).

A proximidade entre a nanotecnologia e a bioética se revela ainda mais evidente pela contribuição de diversas disciplinas na formação de ambos os campos de conhecimento. É lugar comum na literatura que a nanotecnologia surge de uma convergência de diversas áreas de saber, como engenharia, química, ciências da informação e biologia. Não obstante, existem alguns autores que questionam o caráter interdisciplinar da nanotecnologia, argumentando que a interdisciplinaridade a ela creditada não passa de uma grande quantidade de áreas que produzem isoladamente sobre o tema, sem interagir verdadeiramente (Schummer, 2004a). No entanto, assim como no caso da bioética, pode-se identificar que seu corpo teórico é constituído por contribuições de diversos saberes e implica em práticas próprias que não pertencem exclusivamente a nenhum deles.

Além da similaridade entre os campos, o estudo da nanotecnologia por parte da bioética pode servir para compreender discursos e interesses comuns a fenômenos biotecnocientíficos. Por exemplo, a maneira bastante entusiasta com a qual a nanotecnologia se apresenta, prometendo profundas mudanças nas mais diversas dimensões da vida humana, também pode ser vista em outros avanços biotecnocientíficos recentes. Os estudos sobre o genoma humano e sobre o uso de células tronco adquiriram também grande impacto nas publicações científicas e mídias

leigas, que anunciaram a iminência da cura de praticamente todos os males, quer pela identificação e pelo tratamento genético, quer por uma ilimitada e “totipotente” regeneração celular (Holm, Takala, 2007).

No caso da nanotecnologia, a possibilidade de rearranjar átomo a átomo parece ser o que faltava para conhecer e manipular o universo, desde sua menor parte. Neste sentido, seu arsenal tecnológico nos propiciaria interferir na evolução humana, proporcionando corpos e mentes perfeitos (Sfez, 1996). Este tipo de discurso já é conhecido e por alguns denominado Síndrome do Santo Graal (Overly, 1991) e é acompanhado por uma fascinação em torno dos desenvolvimentos tecnocientíficos que atinge níveis extremos e faz parecer sempre e a cada vez que é este avanço (e não mais o anterior) aquilo que faltava para compreender o universo, para alcançar a “vida eterna”, quer seja por um corpo perfeito, melhorado, quer seja pela mente, cada vez mais potente e compatível com as máquinas atuais (Sfez, 1996).

A biotecnociência, desta forma, não consiste apenas na busca por conhecer os processos biológicos, como um objeto de saber teórico, mas fundamentalmente é um saber-fazer guiado para a intervenção sobre seres e processos vivos. Essa possibilidade (ou o discurso sobre a possibilidade) de agir sobre a vida, quer em sua dimensão unicamente orgânica, quer em suas dimensões simbólicas, imaginárias e técnicas, é o que desperta os sentimentos opostos e extremos de fascínio e medo em relação a esta nova forma de competência humana (Schramm, 2010b).

A nanotecnologia também vivencia esta dualidade de percepções. Enquanto cientistas e grande parte da mídia enfatizam os fantásticos potenciais da nanotecnologia, principalmente para a área biomédica; ecologistas e ambientalistas questionam a respeito de impactos ambientais inesperados. As expectativas sobre a nanotecnologia variam entre os extremos do entusiasmo e pavor. Os discursos tecnofóbicos consideram que o poder técnico supera a capacidade de julgamento moral e que, frente aos riscos envolvidos, melhor seria a proibição das práticas nanotecnocientíficas (Wickson et al., 2010).

Em contraposição, o argumento tecnofílico defende que o objetivo do desenvolvimento científico é melhorar a vida humana e, neste sentido, enaltece a potencialidade que a nanotecnologia tem para transformar a ciência, o ambiente e o

próprio homem. Nesta visão, a tecnologia é entendida como um conjunto de dispositivos e mecanismos inócuos *a priori*, cujos desdobramentos morais derivam da forma e objetivo de seus usos. Mas esta perspectiva, chamada de Teoria Instrumental da Tecnologia, acaba por responsabilizar apenas o usuário das tecnologias por possíveis desdobramentos morais, pressupondo, portanto, a neutralidade moral da ciência e das próprias tecnologias. No entanto, a ciência ultrapassa o conjunto de conhecimentos científicos estabelecidos e constitui um organismo dinâmico, composto por práticas, ações e instituições, destinadas a certas finalidades, em função de um panorama de desejos, interesses e valores (Feenberg, 1999). Da mesma forma, um sistema técnico inclui também as pessoas e os fins que perseguem, assim como outros conhecimentos, crenças e valores que comportam ao operar as tecnologias (Olivé, 2000).

Nesta discussão, entre o pessimismo da razão da tecnofobia e o otimismo da vontade da tecnofilia (Schramm, 2010a), o que parece estar em cheque é a própria condição humana. A retórica sobre a potencialidade da biotecnociência de interferir com a identidade, de alterar a tal ponto a vida humana de modo a transformá-la em algo novo, ainda não conhecido, põe em questão que vida é esta a ser transformada.

Assim, a nanotecnologia, por ilustrar tão bem o contexto rico e complexo da tecnociência de seu tempo, torna-se um objeto de estudo interessante até mesmo para compreender e avaliar a presente abordagem bioética sobre a tecnociência em geral.

Uma das primeiras constatações feitas a partir deste exercício de análise contextual das argumentações éticas sobre a nanotecnologia, neste sentido, é que a própria necessidade de um debate ético é colocada em questão. Com efeito, se frente aos problemas éticos sempre são oferecidas respostas técnicas e o próprio avanço científico com o advento de uma nova descoberta é capaz de dissipá-los - como por vezes é afirmado - há de se questionar a importância do referencial bioético no debate. Portanto, para justificar a contribuição imprescindível que a Bioética tem a oferecer para o tema, é preciso entender a tecnologia, a ciência e a bioética a partir de uma visão que não seja reducionista ou tecnicista.

Nesta operação, certamente não se pode prescindir do conhecimento científico, ou negá-lo como válido; mas é indispensável entender as imagens e contextos que

subjazem a todas as escolhas e conjunturas que o instauraram. Esta postura contribuirá para fazer avançar o debate sobre as implicações éticas da nanotecnologia, que no momento se concentra em análises de riscos à saúde e ao ambiente, e tem se limitado a propor soluções técnicas a estes problemas, isto é, no fundo, soluções de biossegurança.

Contudo, nem as implicações éticas nem suas soluções se esgotam nos aspectos tecnocientíficos. Com efeito, a maior parte dos problemas nas ciências da vida envolve múltiplas áreas do conhecimento, com seus diferentes protocolos, formas de ver e formatos culturais. Por isso, estes complexos espaços de interação entre essas disciplinas se tornam particularmente interessantes, tanto para compreender as tecnologias emergentes em si, quanto para rastrear suas implicações para a cultura e para a vida (Fischer, 2011).

As contínuas transformações e descobertas das ciências da vida têm implicações importantes para a política e para a ética, mas também para o senso comum das pessoas. Neste âmbito, a concepção do processo saúde-doença, por exemplo, sofreu profundas transformações. A visão molecular da vida e a utilização massiva da linguagem das tecnologias da informação nas narrativas sobre o código genético levaram a uma percepção de que os humanos todos são "pacientes em fila de espera", nem propriamente saudáveis nem doentes, mas portadores de suscetibilidades. Estas descobertas e suas repercussões são ao mesmo tempo biológicas e sociais (Fischer, 2011).

Assim, a análise dos contextos que promovem a criação de novas disciplinas, com suas metáforas e discursos próprios, bem como a atual visão de que a biologia escreve e não somente descobre novos fatos biológicos, transformam as concepções sobre a relação entre a produção tecnocientífica, a sociedade e nossas condições biológicas e ecológicas de existência (Fischer, 2011).

Ademais, as atuais transformações tecnocientíficas condicionam mudanças nas representações que o homem elabora sobre seu entorno e sobre si mesmo. No entanto, a concepção da relação tecnociência-sociedade enquanto uma possível dicotomia é equivocada, pois a perspectiva de que de um lado encontra-se a tecnociência, com suas aplicações que causam impactos, e no outro estaria a sociedade que os sofre,

pressupõe um isolamento entre tecnologia e fenômenos sociais que não existe de fato (Benakouche, 1999).

A bioética precisa transpor este engano comum e pensar na relação tecnociência - sociedade como uma série de interações e reflexos infinitos, em que a ciência é socialmente determinante e determinada socialmente.

De fato, o entendimento de que as descobertas científicas alteram a cultura e a forma de vida das pessoas é bastante difundido. No entanto, a perspectiva de que a ciência é determinada por conjunções de fatores outros que não os exclusivamente tecnocientíficos - conforme já colocado por Karl Popper - é menos óbvia, e desperta maior polêmica. Com efeito, segundo o epistemólogo Popper, toda teoria científica se baseia em um conjunto de valores e visões de mundo, o Programa de Pesquisa Metafísica, que consiste em concepções que não são passíveis de verificação empírica e não são falseáveis, não constituindo um conhecimento científico propriamente dito. No entanto, são elas que determinam quais são os problemas, métodos de investigação e soluções considerados válidos cientificamente (Popper, 2009).

Dupuy (2006) afirma que, no caso das nanotecnologias, o Programa de Pesquisa Metafísica caracteriza-se pela perda da distinção entre saber e fazer e que o saber-fazer ao qual se dedica a nanotecnologia faria dela o instrumento para viabilizar o engenheiramento da evolução, tornando real o desejo humano de comandar e interferir na fabricação da vida.

Um empreendimento de tal dimensão demanda, portanto, um exercício minucioso de fazer emergir as concepções, ideias e imagens que conformam a teoria científica, analisar a determinação recíproca entre ciência e sociedade para somente então proceder a uma análise crítica ou um julgamento normativo dos avanços tecnológicos.

É a diversidade e pluralidade dos referenciais teóricos articulados na prática disciplinar da bioética que a qualificam para a análise de um tema tão complexo quanto a nanotecnologia. São elas, portanto, que devem instrumentar as propostas de intervenção e normatização sobre o tema, mas não sem antes pautar a análise do cenário mais amplo no qual a nanotecnologia e suas implicações poderão se dar.

3.2. NANOTECNOLOGIA – ABORDAGENS E PERSPECTIVAS ÉTICAS

Diante do anunciado potencial transformador da nanotecnologia, alguns autores propuseram-se a inventariar quais seriam suas possíveis implicações éticas. Mnyusiwalla et al. (2003), em um artigo de certa forma inaugural, no qual convidam a comunidade acadêmica a pensar nas questões éticas levantadas pela nanotecnologia, enumeram equidade, privacidade, segurança, meio-ambiente e questões metafísicas relacionadas às interfaces entre homem e máquina como os principais eixos temáticos na discussão ética das nanotecnologias. Já Lewenstein (2005) identificou como principais temas: os impactos ambientais, questões relacionadas à mão-de-obra e saúde do trabalhador, privacidade, impactos políticos nacionais e internacionais, propriedade intelectual e melhoramento humano.

Até 2008, um levantamento da literatura nacional, latino-americana e internacional sobre nanotecnologia e ética detectou que os principais tópicos abordados foram: aspectos toxicológicos e riscos à saúde; riscos ambientais; controle das tecnologias e automação de dispositivos; ética em pesquisa; diagnóstico sem tratamento; melhoramento genético e eugenia; privacidade; individualidade; autonomia e informação; impactos econômicos; equidade e justiça; propriedade intelectual e acessibilidade do conhecimento; regulação das tecnologias e participação pública; concepção de ser humano e identidade; fronteiras entre natural e artificial; recursos e políticas de ciência e tecnologia; segurança nacional e aspectos bélicos (Pyrrho, 2008).

Destes temas, os mais abordados foram aqueles relacionados à avaliação de riscos, assim como a segurança, a toxicidade e o impacto ambiental dos produtos nanotecnológicos e, secundariamente, a concepção de ser humano e a fronteira entre o natural e o artificial colocados em questão pelo uso da nanotecnologia (Pyrrho, 2008).

É significativo notar que, como tendência geral, os autores não intentam listar de forma exaustiva quais seriam as possíveis implicações éticas da nanotecnologia. De fato, a impossibilidade de antecipar o desenvolvimento de todas as suas novas aplicações impede a previsão de suas consequências. Talvez, por isso, as abordagens estejam mais propensas a agrupamentos e classificações. Durante esta categorização, os autores tendem a identificar temas mais diretamente relacionados às aplicações

tecnológicas, como impactos sobre a saúde e meio-ambiente, e discussões de caráter mais sociológico e filosófico, como aquelas relacionadas à equidade na distribuição de benefícios e a condição humana (Pyrrho, 2008).

Sandler (2009), por exemplo, organiza os tópicos em: temas de âmbito social, temas referentes a questionamentos morais, temas derivados da tecnocultura, temas relacionados a formas de vida, e temas transformacionais.

Segundo o autor, os temas relacionados ao âmbito social resultam da interação das nanotecnologias com os complexos contextos sociais em que elas emergem. São temas de âmbitos sociais: o acesso desigual à saúde, iniquidades em educação, acesso desigual à tecnologia, proteção inadequada da segurança e da privacidade de dados, ineficiência dos sistemas de proteção à propriedade intelectual, exposição desigual a riscos ambientais e falta de segurança na utilização e no consumo de produtos nanotecnológicos (Sandler, 2009).

Os questionamentos morais derivariam de práticas ou atividades moralmente controversas, práticas, essas, que grande quantidade de pessoas creem que deveriam ser proibidas. Alguns exemplos de atividades contestáveis que podem envolver produtos, dispositivos e conhecimentos derivados das práticas nanotecnológicas são biologia sintética, construção de organismos artificiais, armas biológicas, pesquisa com células-tronco e modificação genética de seres humanos (Sandler, 2009).

Já os temas relativos à tecnocultura seriam fruto do papel social da tecnologia nos sistemas sociais nos quais e dos quais emerge a nanotecnologia. São apontados: a confiança exacerbada de que a tecnologia pode resolver efeitos problemáticos da ação antrópica, em vez de entender e tratar as causas dos efeitos; a tendência a superestimar a capacidade humana de prever e controlar as tecnologias, sem levar em conta a dinâmica e a complexidade dos sistemas biológicos; e a alteração na percepção coletiva de natureza e artificialidade (Sandler, 2009).

O autor chama de assuntos referentes a formas de vida aqueles relacionados aos impactos da tecnologia e, mais especificamente, da nanotecnologia, que podem alterar as práticas, as instituições e os costumes da vida cotidiana humana. Temas possivelmente abordados envolvem o aumento da expectativa de vida e o impacto na organização social da estrutura e planejamento familiar, cuidado em saúde, etc.

(Sandler, 2009).

Por último, são abordados os temas transformacionais, relacionados ao potencial que a nanotecnologia - juntamente a outras tecnologias emergentes como a biotecnologia, tecnologias da informação, ciência da computação e neurociências - tem de transformar a condição humana. Os efeitos poderiam causar alterações significativas no humano enquanto ser vivo e em sua relação com o meio-ambiente, levando a uma necessidade de reavaliar moralmente o que significa ser humano, o impacto sobre as questões de identidade e o status moral de organismos artificiais (Sandler, 2009).

Esta, no entanto, não é a única forma de categorização dos problemas éticos levantados pela nanotecnologia. De fato, são inúmeros os critérios utilizados nas tentativas de classificá-los. Uma possível explicação para esta diversidade de classificações e parâmetros é que, por basear-se na exploração de propriedades antes desconhecidas dos materiais, o desenvolvimento da nanotecnologia e seus impactos oferecem uma particular dificuldade de serem previstos. Seu recente aparecimento no panorama científico e a variação na conceptualização da nanotecnologia são outros fatores que contribuem para esta dificuldade de identificar e classificar todas as suas possíveis implicações éticas (Ferrari, 2010).

Adicionalmente ao desconhecimento e à incerteza, a reflexão ética sobre o uso e impacto dos materiais nanoestruturados encontra-se desafiada por uma curta trajetória científica que ainda impõe dificuldades a avaliações bibliométricas e levantamentos bibliográficos, pois a própria catalogação de referências, periódicos e patentes nem sempre é passível de ser atualizada de acordo com a velocidade de produção deste novo ramo científico (Leydesdorff, Zhou, 2007).

No entanto, é a tarefa de começar pelo início, isto é, de introduzir o tema a partir do próprio conceito de nanotecnologia, que conforma o próprio campo de estudo, o primeiro obstáculo para a reflexão ética da nanotecnologia. Com efeito, por tratar-se de um conceito pouco claro, que remete à síntese e à manipulação de materiais na dimensão entre 1 a 100 nm, mas que pode prescindir dela, há uma divergência entre o que cada um dos grupos que incorporou o termo nanotecnologia em seus léxicos pretende abordar quando o utiliza. Isto implica na ausência de uma definição precisa do termo que possa ser partilhada por todos os âmbitos que o empregam. Por este motivo,

até mesmo o objeto de estudo e o próprio campo da nanociência e da nanotecnologia não parecem consensualmente organizados. Em geral, os pesquisadores e cientistas tendem a descrever a nanotecnologia a partir da perspectiva de suas próprias atividades (Petersen, Anderson, 2007).

O discurso torna-se, então, uma apologia ao progresso científico, em lugar de esclarecer qualquer aspecto específico sobre a nanotecnologia (Swierstra, Rip, 2007). A nanociência torna-se assim a expectativa que gera, é convertida naquilo que promete. Em um âmbito de grande otimismo ou grande pessimismo, em vez de um contexto informativo, a nanotecnologia torna-se a próxima grande solução para os problemas de saúde mundiais ou o que falta para o derradeiro desastre ecológico. Sob esta perspectiva é impossível uma avaliação arrazoada.

Uma das mais conhecidas discordâncias na literatura sobre o tema trata justamente sobre o próprio objeto da nanotecnologia. Segundo alguns autores, ao se tratar da temática da nanotecnologia, há ao menos dois tópicos diferentes em pauta. Isso ocorre porque se dá o mesmo nome a dois tipos de práticas completamente diversas: a vertente idealizada por Drexler e a que concebe a engenharia molecular. Trata-se da diferença entre uma tecnologia hábil na produção de dispositivos autorreplicantes e outra, que visa à produção a partir do controle e organização dos átomos (Keiper, 2007).

Inspirada nas primeiras palavras de Feynman, a primeira vertente consiste em uma visão inovadora e única dos processos químicos e físicos. Segundo esta perspectiva, a partir da programação de nanomáquinas autorreplicantes que organizarão átomos e moléculas, será possível o controle estrutural do mundo, desde suas menores dimensões (Drexler, 2004).

Essa visão é fortemente rechaçada por grande parte da comunidade científica, que tem como principal enfoque o engenheiramento de materiais a partir da manipulação controlada de átomos e moléculas. Os cenários fantásticos preconizados por Drexler são negados com o argumento de que ele mesmo reconhece não haver meios de construir, ao menos atualmente, os dispositivos autorreplicantes fundamentais para realizar sua perspectiva (Drexler, 2004; Keiper, 2003). No entanto, há de se notar que evitar temáticas polêmicas e negar imaginários que colocam em jogo as

concepções sobre vida e artificialidade não é uma tendência nova na história da ciência.

Com efeito, conforme visto na polêmica sobre os alimentos geneticamente modificados, os questionamentos a respeito da possibilidade de alteração da condição humana por técnicas de transgenia são usualmente menosprezados e até ridicularizados no meio científico. Segundo o discurso científico predominante, esse tipo de questionamento, atribuído ao medo irracional que a população tem do potencial científico, é fruto da ignorância que só pode ser aplacada por um maior investimento público no desenvolvimento científico (Allain, 2007).

De fato, apesar do avançar das discussões e da entrada cada vez mais intensa de produtos nanotecnológicos no mercado, ainda são muitas as controvérsias a respeito de sua viabilidade e projeções. Neste sentido, há quem argumente que devido ao pouco tempo de existência da nanotecnologia, o que se faz atualmente é muito mais buscar conhecer as propriedades do que produzir tecnologia propriamente. Segundo este entendimento, a despeito do emprego do termo nanotecnologia em detrimento de nanociência, os produtos não sofreram nenhuma alteração importante e são mais ou menos produzidos da mesma forma que antes. Neste sentido, esta visão defende que a nanotecnologia não possui caráter revolucionário, ao contrário do que se costuma anunciar, mas apenas incremental: as pesquisas sobre nanotecnologia nada mais são que uma continuação de estudos anteriores que incorporaram alguma técnica ou produto nanotecnológico em suas rotinas (Cao, 2006; Ruiz et al., 2008).

Adicionalmente, a manipulação de objetos e dispositivos nesta escala é comum a quase todos os novos ramos de ciência experimental atualmente (Roco, 2011). Afirma-se, inclusive, que a nanotecnologia sofre uma forma de “crise existencial” por não ter se derivado das disciplinas básicas conforme o usual desenvolvimento de novas áreas científicas. Ela seria fruto da acima citada política do governo norte-americano, chamada *National Nanotechnology Initiative* e que, de um dia para outro, transformou químicos, físicos e cientistas de materiais em nanotecnólogos, em busca do massivo financiamento (Jones, 2005).

Esta dificuldade de determinar o que é e o que não é nanotecnologia traz consequências epistemológicas e éticas importantes. Ademais, a imprecisão do

conceito faz com que os laboratórios reclamem para si e para suas pesquisas a denominação “nano”, com todo o prestígio e os recursos que a acompanham. Em suma, as fronteiras pouco claras deste novo movimento tecnocientífico se refletem na discussão de suas potencialidades e consequências.

Neste terreno pouco sólido, o impulso inicial é buscar uma uniformização na conceituação para que a análise se torne mais simples e segura. Nesta perspectiva, há quem acredite que uma melhor e mais precisa classificação da nanotecnologia do que a atual definição amorfa e de tão amplo espectro seja necessária para fins educacionais, para fins regulatórios e para garantir que o público em geral e as próximas gerações conheçam sua trajetória técnica e científica (Joachim, 2006).

Contudo, a busca por conceitos precisos em nanotecnologia, embora considerada necessária, pode não ser suficiente para a regulação, conforme demonstrado em uma audiência do conselho presidencial norte-americano sobre bioética em 2007. Com efeito, em um relatório da audiência, a definição do termo nanotecnologia foi apontada como necessária para oferecer uma fundamentação sólida para a compreensão de suas implicações éticas. Foram convidados quatro *experts* para esclarecer ao conselho tópicos importantes sobre o tema. Dois deles se propuseram a explicar ao conselho em que consistia a nanotecnologia. Segundo o relatório, ambos dedicaram considerável tempo na explicação, mas apresentaram concepções diversas. Enquanto o primeiro definiu nanotecnologia enquanto o processo de manipulação e criação de produtos a partir da nanoescala, o segundo descreveu a nanotecnologia como a criação de objetos artificiais com ao menos um componente crucial em dimensões nanoescalares e que apresentasse novas propriedades em relação àquelas encontradas em outras escalas (Crowe, 2008).

Curiosamente, Maynard, o convidado que forneceu a primeira das definições oferecidas naquela audiência, e um dos defensores da necessidade de uma definição regulatória dos materiais nanoestruturados já em 2006, em julho de 2011 afirmou:

Muitos argumentam, e eu já concordei, que a definição de nanomateriais engenheirados é necessária para regulamentar e garantir seu uso seguro. Mas uma definição precisa se provou difícil, se não impossível, de ser alcançada (Maynard, 2011, p.31).

O autor reconhece que alguns materiais nanoestruturados apresentam

comportamento diverso de seus correspondentes em maiores escalas e podem trazer, portanto, novos riscos – para tentar mostrar isso menciona a ação carcinogênica de nanopartículas de dióxido de titânio, um composto cuja forma bruta é comumente utilizada como alvejante industrial sem relatos de grandes consequências para a saúde. Alerta, porém, para as crescentes evidências de que não é somente a escala que determina o risco, outros parâmetros como a arquitetura molecular, a porosidade e área de superfície também estão envolvidos. A transição do comportamento convencional para a apresentação das novas propriedades depende do material específico e do contexto. Adicionalmente, relembra que regulações estritas já causaram problemas anteriormente, como no caso de um material de composição semelhante ao amianto que perdurou no mercado por não se encaixar na definição oficial do material banido (Maynard, 2011).

Uma definição estanque pode não corresponder ao estágio das pesquisas do momento e a dificuldade de traduzir em regulação o estado científico de conhecimento pode prolongar os riscos. Seria, portanto, preferível um sistema regulatório mais sensível às especificidades da nanotecnologia e de seu progresso científico, mas sofisticado quanto aos critérios de análise e mais propenso a atualizações (Maynard, 2011).

3.2.1. Abordagens sobre ética e nanotecnologia: um panorama

Se a definição a respeito do que seja nanotecnologia não parece ter um consenso, isso parece repercutir no recente debate ético sobre a nanotecnologia que, por sua vez, comporta tipos de abordagens e discursos bastante diferentes entre si. Ferrari (2010) realizou uma revisão sobre o crescente esforço de analisar eticamente o tema, sobre as abordagens predominantes, seus contextos e limitações.

3.2.1.1. A busca por legitimidade das reflexões éticas iniciais

Segundo Ferrari (2010), o primeiro obstáculo para a análise ética da nanotecnologia - a ausência de um consenso em torno de sua definição - influenciou profundamente os estágios iniciais do debate sobre ética e nanotecnologia. Aparentemente, os questionamentos iniciais sobre a autonomia disciplinar da própria nanotecnologia repercutiram nas primeiras abordagens éticas do tema, que foram marcadas por uma repetida justificação da necessidade de discussão moral sobre a nanotecnologia. Além das justificativas sobre a necessidade de analisar eticamente o tema, este primeiro momento no debate ético sobre a nanotecnologia também incluía a polêmica se este tipo de reflexão constituía um novo campo, a nanoética, ou não.

De fato, as críticas feitas à nanoética foram ainda mais contundentes do que aquelas recebidas pela própria nanotecnologia: se esta foi questionada quanto à precisão de seu conceito e à viabilidade de seus propósitos, a polêmica quanto à nanoética vai desde o questionamento sobre que tipo de problemas efetivamente enfrentaria até a justificação de sua própria existência (Ferrari, 2010).

As críticas à nanoética seguem uma tendência de rejeição a recentes subdisciplinas da ética aplicada, como a neuroética, a gen(-)ética e agora a nanoética. O principal argumento é que apesar de a nanotecnociência ter o potencial de levantar problemas, não demanda uma nova ética. Neste sentido, o necessário, segundo Litton (2007), não é o investimento em novo ramo de pesquisa ética, já que outras tecnologias levantaram anteriormente os mesmos problemas, como questões sobre a privacidade e a natureza do ser humano. Ao contrário, a nanotecnociência demandaria investimento em métodos de investigação científica, como toxicologia e estudos de impacto.

Esta perspectiva apressada busca esvaziar a importância das ferramentas éticas de avaliação do saber-fazer científico. E, em geral, conclui que tudo já foi estudado e que não há nada de novo do ponto de vista ético na nanotecnologia (Khushf, 2007). De fato, o motivo pelo qual a nanotecnologia desperta tanta atenção - a promessa de potencializar as capacidades humanas – refere-se de certa forma à finalidade de todas as tecnologias.

No entanto, a nanotecnologia, bem como a genética, possibilita o melhoramento

humano, não a partir de reconfigurações em condições externas tão passíveis de erros, mas a partir de dentro, da reestruturação da informação, das moléculas que a constituem. Esta precisão, a princípio inédita, ainda que não se revele assim tão nova em seus objetivos (já que a terapia gênica tem metas semelhantes), é inegavelmente significativa do ponto de vista ético, pois pretende agir na transformação da condição humana. Contudo, até o momento, tanto a capacidade técnica quanto as consequências de reconfigurar tão precisamente o humano a partir de seus códigos, molécula a molécula, são somente possibilidades, e por isso as discussões éticas têm se resumido às justamente criticadas reflexões meramente especulativas (Nordmann, 2007).

De qualquer forma, ainda que não seja necessária uma disciplina autônoma que se dedique exclusivamente ao tema, não há motivo para negar às implicações éticas, mesmo não sendo inéditas, uma atenta análise dentro do novo contexto em que se encontram (Allhoff, 2007).

3.2.1.2. Perspectivas deontológicas e consequencialistas

Apresentadas, inicialmente, as devidas justificativas para a necessidade de acessar as implicações éticas da nanotecnologia, em um segundo momento o enfoque do debate mudou. As abordagens passaram a oscilar entre perspectivas consequencialistas e deontológicas, oposição já bastante conhecida pela bioética. Há um predomínio, porém, da abordagem consequencialista que pode ser evidenciado pelo papel central desempenhado pela análise de riscos das nanopartículas no presente debate (Ferrari, 2010). Para esta abordagem, leituras visionárias e aspectos futurísticos devem ser evitados e o conhecimento acumulado deve ser fornecido às autoridades e ao público para possibilitar o processo de tomada de decisões (Shrader-Frechette, 2007).

O apelo a uma abordagem consequencialista, contudo, evidencia a incipiência do conhecimento sobre os riscos impostos pelos nanomateriais ao meio ambiente e à saúde humana. Há razões para pensar em impactos negativos, mas a natureza e a extensão dos riscos são essencialmente desconhecidas, o que dificulta sobremaneira

compreender se os benefícios da nanotecnologia a justificam do ponto de vista consequencialista.

Diante da falta de certeza científica referente às implicações do uso de nanomateriais, a principal sugestão tem sido a adoção do princípio da precaução. Se o objetivo da análise de riscos e da regulação é eliminar os riscos humanos e ambientais ou ao menos reduzi-los a níveis aceitáveis, no caso das nanopartículas, o desconhecimento das possíveis maneiras de exposição e dos prejuízos a elas associados faz com que o risco só possa ser delimitado se a liberação for evitada (Clift, 2005).

O princípio da precaução é concebido para ser usado se uma ação expõe a um determinado estado de risco ou de perigo. Os dois termos representam uma transição semântica que se inicia com um estado potencial, o risco, e avança para um estado atual, o perigo, podendo chegar a causar reais danos. Para a aplicação do princípio da precaução, o evento ameaçador deve ser plausível segundo o conhecimento científico, ainda que sua probabilidade não possa ser calculada (Schramm, 2010b). Por isso, a ação prescrita pelo princípio da precaução pode variar de acordo com a percepção da gravidade da ameaça, numa escala que começa com o risco e, passando pelo perigo, termina no dano. No caso dos produtos nanoestruturados, o uso do princípio recomendaria a realização de análises de risco aprofundadas e talvez desacelerar a produção até que a natureza do eventual perigo seja conhecida e se torne possível evitar o dano. Quanto à questão da privacidade, especificamente, a precaução consistiria na regulação do uso antes da ampla disponibilização das tecnologias ditas invasoras (Weckert, Moor, 2006).

No entanto, a utilização do princípio da precaução como parâmetro ético para tomadas de decisão pertinentes às aplicações nanotecnológicas tem recebido muitas críticas. Efetivamente, o princípio parece não surtir efeitos, ao menos não os esperados. Isso porque os riscos acabam por ganhar uma dimensão ainda mais significativa no debate sobre a nanotecnologia, não necessariamente porque os riscos sejam maiores, mas justamente porque os mecanismos atuais de regulação e controle tornam-se insuficientes e até mesmo inadequados frente à incerteza e à imprevisibilidade características do campo (Grunwald, 2005).

As críticas a respeito da análise de riscos assentam-se justamente na necessária imprecisão que tal abordagem traria, já que o conhecimento não é pleno agora e provavelmente nunca o será. Ferramenta a que se recorre com frequência para remediar a dificuldade de se predizer os rumos do desenvolvimento científico, a aplicação do princípio da precaução parte do pressuposto de que os efeitos negativos são conhecidos, mas que a quantificação dos riscos é impossível por falta de dados (Ferrari, 2010).

No caso da nanotecnologia, não somente a quantificação dos riscos é impossível, mas os efeitos, em si, não são previsíveis. Aqui, além do desconhecimento da totalidade das repercussões, configura-se um cenário epistêmico novo onde a ignorância e a incerteza são basais (Stirling, 2007). Neste contexto, o princípio da precaução não parece oferecer utilidade ou, ao menos, acaba por reduzir-se a um discurso que não surte efeito, gerando regras incoerentes e paradoxais para a tomada racional de decisões, resultando em inércia (Holm, 2006; Harris, Holm, 2002; Peterson, 2006).

Outro fator para o insucesso de quem tenta pautar a análise ética na projeção de riscos é a divergência entre os parâmetros utilizados pela avaliação dos cientistas e aqueles que mediam a percepção desses riscos pela sociedade (Slovic, 1997). A percepção de riscos varia, em geral, entre população, cientistas, e cientistas sociais (Lenk, Biller-Andorno, 2007).

A percepção pública de que os avanços biotecnocientíficos representam riscos desconhecidos, que podem demorar a se manifestar ou não ser plenamente observáveis, é contra-argumentada pelo discurso científico embasado em cálculos da relação entre risco e benefício, de propriedades ainda não completamente dominadas pelos cientistas (Savadori et al., 2004). Enquanto os cientistas enfocam suas análises em estimativas de incidentes, a população em geral utiliza outros referenciais para esta representação, como a perspectiva de catástrofes e impacto sobre as gerações futuras (Slovic, 1987).

É interessante ainda ressaltar a impressão bastante disseminada, mas nem sempre comprovada, de que uma percepção aumentada dos riscos está ligada à ignorância sobre o assunto. Um estudo encomendado pelo *Project on Emerging*

Nanotechnologies demonstra que, após receber informações sobre nanotecnologia, a percentagem dos que acreditam que os potenciais benefícios superarão os riscos desta tecnologia sobe de 18% para 25% dos entrevistados. No entanto, após as informações, a percepção de que os benefícios serão menores que os riscos cresce ainda mais significativamente. Inicialmente, 19% dos participantes acreditavam que a nanotecnologia traz mais riscos que benefícios, após receberem informações este número sobe para 35%. Assim, após os entrevistados serem devidamente informados, somando os 35% de entrevistados que creem que a nanotecnologia trará mais riscos que benefícios aos 34% dos participantes que acham que os riscos e benefícios serão iguais, chegamos a um total de 69% de participantes informados que não acreditam que os benefícios da nanotecnologia superarão seus riscos. É surpreendente que os realizadores da pesquisa subestimem este último dado e prefiram dar maior ênfase ao fato de que os entrevistados mais otimistas são aqueles melhor informados (AHRA, 2009).

Não há, portanto, apenas uma maneira, mesmo que devidamente informada, universalmente objetiva de identificar e avaliar um risco. Em outras palavras, as sociedades democráticas se caracterizam pela convivência de grupos sociais muito diversos, com diferentes visões do mundo e inúmeros sistemas de valores, tornando impossível uma visão sobre a gestão do risco que seja a única correta e eticamente aceitável. Neste sentido, na identificação e avaliação de riscos podem existir diferentes pontos de vista, igualmente legítimos (Olivé, 2006).

Consequentemente, a precaução diante de riscos não mensuráveis e não consensuados parece um recurso precário para dar conta da vida prática e sua interação com as disposições do mercado, fazendo-se necessária uma construção mais ampla dos parâmetros de análise.

Como opção à abordagem consequencialista e suas limitações em tratar a riqueza e complexidade dos desafios impostos pela nanotecnologia, apresenta-se uma abordagem deontológica baseada na criação de códigos e relatórios para guiar a governança política da nanotecnologia (UNESCO, 2006; CEST, 2006; CEC, 2008; NRC, 2006). Estes documentos fundamentam-se na pressuposta universalidade dos valores que propõem.

A abordagem deontológica desses códigos sustenta que um desenvolvimento responsável das tecnologias emergentes consiste na elucidação do que significa bem-estar e desenvolvimento humano, na identificação das oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias para alcançá-los e na capacitação ética para permitir a adaptação necessária e efetiva da sociedade às tecnologias emergentes, eliminando os obstáculos para o seu desenvolvimento (Ferrari, 2010).

Em nome desta universalidade de valores e na tentativa de expressar as diferentes necessidades e interesses envolvidos, estes códigos acabam por tornar-se muito vagos e imprecisos. Segundo a perspectiva deontológica adotada por estas tentativas normativas, um comportamento moralmente adequado seria obtido ao respeitar os princípios por eles elencados. Esses códigos, propostos e aceitos por países e instituições por meio de atos voluntários, têm a frouxidão legal esperada e, de certa forma, característica da regulação de novas biotecnologias, pois pretendem estabelecer valores éticos e obrigações morais mais do que normas legais. Esse tipo de abordagem em geral apela para valores como responsabilidade e sustentabilidade. Recebe, por sua vez, críticas quanto a seu desempenho, já que sua proposta de universalidade ética genérica os enfraquece enquanto mecanismos reguladores (Ferrari, 2010).

Adicionalmente, a acepção de responsabilidade presente na maior parte dos códigos parte de uma perspectiva de que todas as tecnologias têm como objetivo o desenvolvimento humano, acabando por gerar um comportamento indulgente e tolerante em relação a estas novas tecnologias. Assim, em vez de regulamentar, a abordagem deontológica acaba por se tornar um meio para a promoção do desenvolvimento da nanotecnologia (Ferrari, 2010).

Neste contexto, tem-se defendido o engajamento público nas tomadas de decisão e a construção dialógica destes códigos e relatórios. Este movimento inclusivo na elaboração desses guias morais visa justamente restaurar a confiança pública na ciência, incrementar a política de inovação, evitar reações adversas futuras, democratizar a regulação das novas tecnologias e tornar a prática científica mais responsável e confiável (Macnaghten, 2010).

O engajamento público cresceu, principalmente na Europa, após o fracasso

comercial dos alimentos geneticamente modificados. Portanto, a sensação de segurança oferecida pelo processo de elaboração desses documentos é um efeito intencional, mas que, por vezes, pode ser manipulado para diminuir a resistência pública a tecnologias desconhecidas (Macnaghten, 2010). Esta forma de governança se torna ambivalente ao pretender regular e ao mesmo tempo promover as tecnologias emergentes, gerando uma atmosfera de excesso de confiança. Esta configuração reflete jogos de poder e interesses de sedução em torno da governança da nanotecnologia (Ferrari, 2010).

O debate ético até o presente momento teve um significativo avanço no tocante a tópicos como a análise de riscos, a precaução, a necessidade de regulação e governança, o engajamento público e a reflexão epistêmica a respeito dos limites do conhecimento. No entanto, nem os tópicos nem os enfoques oferecidos até o momento alcançam a complexidade dos fenômenos sociais, da dinâmica dos interesses e dos discursos envolvidos na relação entre nanotecnologia e sociedade. Do presente debate, emerge cada vez mais a necessidade de atentar para os papéis sociais desempenhados pela ciência e tecnologia (Ferrari, 2010).

3.2.1.3. Contextualização social da nanotecnologia

Assim, adicionalmente às abordagens iniciais de legitimação e justificação do campo e aos posteriores (e ainda dominantes) enfoques consequencialista e deontológico, passa a coexistir na literatura sobre ética e nanotecnologia um terceiro momento da discussão, focado na contextualização da interface nanotecnologia-sociedade. Este terceiro momento dedica-se à compreensão de aspectos sociais, culturais, econômicos, históricos e filosóficos que determinam e ao mesmo tempo são determinados pela interação entre desenvolvimento tecnocientífico e sociedade (Ferrari, 2010).

Recentemente, cresceu a importância do argumento de que as questões comumente colocadas, como a necessidade e a legitimidade da nanoética ou se os desafios são realmente novos, não somente distraem a atenção daquilo que é importante, mas desvirtuam e enviesam o próprio debate. Isto porque, ao focar nestas

questões, os debatedores negligenciam o que parece ser o fundamental: as implicações culturais, sociais e econômicas da nanotecnologia (Ferrari, 2010).

Assim sendo, neste terceiro momento do debate, o caráter disruptivo da nanotecnologia é atribuído a seu alcance sobre o processo industrial como um todo e seus resultantes socioeconômicos, mais do que a novas propriedades da matéria. Espera-se que, juntamente às tecnologias de convergência, a nanotecnologia influencie profundamente a organização econômica global na sociedade da informação, trazendo repercussões para a reconfiguração da divisão do trabalho, suscitando novas formas de toxicidade e, assim, como com outras recentes tecnologias, incrementando o monopólio nos processos de produção (Invernizzi, Foladori, 2005).

É esperado para os próximos anos que as iniquidades sociais características da economia globalizada, e que assolam principalmente os países em desenvolvimento, sejam intensificadas por fatores como a introdução da nanotecnologia no mercado alimentar, a presença cada vez mais marcante das grandes indústrias no ramo das biotecnologias e as questões relacionadas a patentes e propriedade intelectual. Caso seja este o delineamento da identidade da nanotecnologia no contexto social global, há mais chances de que haja um aumento das disparidades do que sua diminuição, incrementando, portanto, o que se tem chamado “nanodívida” (Invernizzi, Foladori, 2005).

Isto porque a nanotecnologia surge em um cenário onde iniquidades sociais e danos ao meio-ambiente não somente existem, mas são, por vezes, alimentados por estabelecidas instituições e práticas sociais que favorecem grandes indústrias em detrimento do bem-estar das populações. Devido a este contexto, enfoques como aquele da justiça ambiental distributiva tornam-se importantes porque alertam para o fato de que a distribuição ambiental dos possíveis benefícios e riscos da nanotecnologia não será geopoliticamente uniforme. Os possíveis riscos ambientais se concentrarão em áreas industriais em torno das quais geralmente habita uma população mais desabastecida e menos apta socialmente para defender seus próprios interesses (Sandler, 2009).

É por este motivo que não basta pensar a análise de riscos a partir da toxicidade ao humano e ao ambiente. Os resultados socioeconômicos, positivos ou negativos,

dependem de quais materiais nanoestruturados serão produzidos e para que finalidade, como e onde serão manufaturados, quais fatores são preponderantes para essas determinações, quais são as instâncias decisórias e reguladoras e sua efetividade. Estes aspectos não são motivados pela nanotecnologia ou pelo conhecimento científico que a promove, mas respondem a conjunturas políticas e sociais que determinam áreas prioritárias de investimento, aplicações e usos legitimados socialmente, entre outros aspectos. Para os que defendem que os impactos socioeconômicos têm maior importância e são mais imediatos, são estes outros fatores, para além da toxicologia em si, que determinam a dimensão ética da nanotecnologia (Sandler, 2009).

3.2.1.3.1. Análise do discurso

Há ainda outra proposta, que se opõe à fala predominante de que é necessário evitar as perspectivas futurísticas e o exercício especulativo, também sustentada no pressuposto de que é necessário compreender o contexto em que se desenvolve a nanotecnologia. Contrapondo-se ao lugar comum de tentar ter uma perspectiva mais “realista” das implicações éticas, a análise de imagens e concepções afirma que não é possível, ou desejável, analisar os fatos científicos ou sociais isolados dos discursos e visões sempre carregados de expectativas e comoção presentes nos debates sobre nanotecnologia (Ferrari, 2010).

Segundo esta proposição de análise contextualizada das imagens e concepções presentes no debate, a busca por uma atuação entendida como mais objetiva, realista e efetiva dos impactos da nanotecnologia acaba por negligenciar a influência que os discursos têm sobre o posicionamento ético e sobre os processos de decisão (Ferrari, 2010).

Conforme esta leitura, o que de fato tem consequências éticas e sociais não são a dimensão e os processos nanoescalares propriamente, mas a expressão da tecnociência como parte das relações humanas, com o conjunto de imagens, significações e expectativas. Para entender as tecnologias de forma a desenvolver uma abordagem ética apropriada, é necessário antes de tudo explorar e esmiuçar o universo de visões, imagens, ideias e representações de natureza, de ciência, de tecnologia e de ser humano embutidas na discussão (Ferrari, 2010).

Diante das potencialidades da nanotecnologia, a grande expectativa que ecoa na literatura sobre o tema, inclusive na científica especializada, vem recebendo cada vez mais atenção da literatura crítica. A análise das posições que permeiam o presente debate, mesmo as visões simplistas e excessivas, e das concepções que as fundamentam tem sido desenvolvida a partir de modalidades de análise de discurso. Dentre elas, a análise de imaginários tecnocientíficos (Kearnes et al., 2006), por exemplo, parte da constatação de que os discursos que determinam as direções do desenvolvimento científico tem um caráter que é simultaneamente técnico e cultural, o que leva a analisar as tecnologias como fenômenos sociais. Outro exemplo é a técnica, proposta por Sparrow (2007), da análise das narrativas que permeiam a visão de diferentes fontes e atores envolvidos no debate sobre a nanotecnologia. Esta análise busca identificar as intenções e as concepções presentes no debate, as maneiras como estas atuam para determinar a opinião pública, e o modo como estas conjunturas determinam o direcionamento da produção de derivados nanotecnológicos, sua aceitação social e seu consequente consumo.

Para enfrentar a tarefa de ponderar sobre um tema tão polêmico e complexo como a nanotecnologia, Grin e Grunwald (2000) propõem a análise das visões envolvidas no debate. Esta busca identificar fundamentos, valores e interesses para elucidar seus papéis no discurso, suas influências no debate e suas implicações nos direcionamentos do desenvolvimento científico. Este processo começa por um levantamento das visões mais comuns sobre um tema, avança para o delineamento de um mapa dos atores, suas visões e seus locais no debate e finaliza com a análise do conteúdo cognitivo e ético das visões. Desta forma, a análise das visões não é apenas um instrumento para a compreensão do que é a nanotecnologia, mas permite uma compreensão ainda mais ampla sobre a configuração do próprio debate ético.

Neste sentido, para escapar do dualismo entre tecnofilia e tecnofobia, tão comum nas discussões sobre as implicações éticas da nanotecnologia, uma das estratégias propostas é, em vez de tomar a ética a partir de uma perspectiva participativa, colocar-se em uma atitude observativa, e avaliar o panorama das visões envolvidas, inclusive as posições extremistas. Deste modo, frente à nanotecnologia e seu caráter incerto e imprevisível, este tipo de análise ética não demandaria forjar uma definição conceitual

precisa ou aguardar um conhecimento mais definido a respeito da nanotecnologia para somente então se posicionar. A tática é, num exercício de distanciamento, observar o cenário no qual os atores constroem suas perspectivas e concepções da nanotecnologia e, sobre isto, fundamentar a análise ética (Kaiser, 2006).

A análise das formas como os vários atores envolvidos compreendem e descrevem os sistemas tecnocientíficos (Sparrow, 2007; Mordini, 2007), bem como um dedicado exame aos imaginários tecnocientíficos, revelam noções, incutidas social e culturalmente, como a de que as inovações tecnocientíficas moldarão o futuro (Kearnes et al., 2006). Esta constatação reforça a importância da análise do discurso sobre ciência como um rico conjunto de indícios dos fenômenos sociais e culturais relacionados ao desenvolvimento tecnocientífico.

Assim, ao dedicar-se às interfaces ciência-sociedade há razões metodológicas e epistemológicas para uma análise mais detalhada das respostas oferecidas à pergunta “o que é a ciência?” Ao levar em conta as condições sociais e materiais que permitem seu surgimento e desenvolvimento, percebe-se que a ciência abarca um complexo de atividades, crenças, saberes, valores e normas, costumes e instituições. Inclui, portanto, tudo o mais que possibilite o alcance de resultados que são explicados pelas teorias, modelos e outras formas de representação de conhecimentos científicos que permitem a interação e a transformação do mundo (Olivé, 2000; Olivé, 2006).

Desta forma, as diversas concepções sobre o que é ciência condicionam a prática científica. Estas imagens podem incluir concepções a respeito dos métodos adequados para a construção do conhecimento científico e/ou para a validação dos produtos da atividade científica. Estes métodos estariam normalmente comprometidos com certos valores cognitivos e não cognitivos, que também compõem tais imagens (Abrantes, 2002).

A ciência e seus valores subjacentes, portanto, podem tornar-se objeto de conhecimento (meta-)científico. O objetivo deste tipo de estudo seria elucidar a forma como o sistema ciência-sociedade se apresenta hoje ou como se configurou em diferentes momentos históricos. Disciplinas como a história da ciência, a sociologia da ciência, a antropologia da ciência, entre outras, se pautam em diferentes objetivos e perspectivas, mas tem em comum um caráter empírico, por utilizarem métodos

científicos como a observação, por exemplo, e por perseguirem os objetivos típicos da ciência, como o de construir modelos e teorias visando à explicação (científica) de aspectos do próprio sistema ciência-sociedade (Abrantes, 2006).

Há também estudos metacientíficos que se apresentam com objetivos próprios da filosofia, como esclarecer, justificar, normatizar, reconstruir e criticar, e seus métodos característicos, como análise conceitual, reconstrução lógica, tradução de linguagens e experiências de pensamento. Esses estudos de caráter filosófico se dedicam majoritariamente a aspectos cognitivos do fenômeno científico. Contudo, a dimensão ética da ciência, relativa aos valores não-cognitivos promovidos por esta atividade, tem figurado cada vez mais intensamente na pauta dos estudos deste caráter (Abrantes, 2006).

Para Schummer (2004b), os estudos metacientíficos percebem os cientistas e pesquisadores como parte da sociedade. As análises estão interessadas nas influências exercidas por tradições cognitivas e instrumentais, valores culturais e crenças, necessidades sociais e conflitos de interesses na estruturação da ciência. No caso da nanotecnologia, além desta dimensão sociocultural, é escopo das análises metacientíficas a maneira pela qual a nanotecnociência atua na dinâmica de determinação de funções na relação entre ciência e tecnologia.

Independentemente do tipo de estudo metacientífico utilizado, o sistema ciência-sociedade está inserido em um meio intelectual/cultural no qual imagens de ciência, e também de natureza, são elementos fundamentais e resultam de várias práticas - científicas ou não (Abrantes, 2006).

Pode-se dizer, portanto, que as diferentes maneiras de responder a pergunta “o que é a ciência?” refletem imagens distintas de ciência. Segundo Olivé (2000), a primeira delas, a *imagem científica* da ciência, é concebida pelo próprio conhecimento científico. Corresponde a uma perspectiva interna que os cientistas têm de suas próprias atividades e práticas, de suas instituições e dos fins a que se propõem, dos meios, métodos e materiais que usam para obtê-los e dos resultados desta busca (Olivé, 2000).

As outras abordagens vêm de fora da ciência. Uma delas, a *imagem filosófica* ou *metacientífica*, levanta outras questões que a ciência, em si, não pode ou não tem por

objetivo responder. Diversamente da *imagem científica* da ciência, a *imagem metacientífica* pondera a respeito de questões como as condições necessárias para que um conhecimento seja genuinamente científico, a forma como se desenvolve a ciência, os fins da investigação científica, a maneira como a ciência tomou a presente organização social, entre outras. As disciplinas que a ela se dedicam, como história, filosofia e antropologia da ciência, proporcionam elementos fundamentais para a compreensão da interação entre tecnociência e sociedade, podendo oferecer contribuições para orientações morais (Olivé, 2006).

As duas imagens anteriores explicam várias facetas da ciência; no entanto, há ainda uma terceira imagem: a *imagem pública* da ciência e da tecnologia. Esta é formada por uma parcela da sociedade que não é especializada em ciências ou não as tem como objeto de estudo, mas possui um importante papel na cultura atual e envolve ideias sobre o que é a ciência, qual sua importância, porque confiar e porque investir socialmente nela. O conjunto dos valores cognitivos e morais envolvido nesta imagem é em grande parte resultado dos meios de comunicação de massa (Olivé, 2000).

Assim, na busca por compreender e solucionar os potenciais conflitos resultantes da interação entre as dinâmicas sociais e a nanotecnologia, não há divergências somente quanto a perspectivas éticas. Com efeito, as imagens de ciência variam entre os vários segmentos envolvidos: mídia, comunidade científica, representantes de diversos setores da sociedade e diversas instâncias da política científica, possuem perspectivas diversas sobre o que seja a nanotecnociência.

Soma-se a esta heterogeneidade de atores e perspectivas científicas e éticas, uma grande diversidade de âmbitos que podem ser atingidos pelas consequências do uso de produtos e dispositivos nanotecnológicos. São mencionados possíveis impactos sociais, econômicos, culturais, ambientais e na saúde humana. Esses impactos, porém, não são igualmente percebidos nem recebem o mesmo grau de atenção por parte das diferentes perspectivas éticas encontradas na literatura (Pyrrho, 2011).

3.2.2. Implicações éticas: proposta de uma tipologia

É possível perceber que, dependendo do discurso, alguns dos possíveis impactos éticos da nanotecnologia recebem mais importância em detrimento de outros. Isto ocorre porque as percepções a respeito dos aspectos éticos da nanotecnologia são fundamentadas por imagens de ciência diversas entre si e, que determinam dentro de seus discursos quais impactos são mais plausíveis, importantes e urgentes. Desta compreensão, resultou uma proposta de classificação das implicações éticas da nanotecnologia em duas categorias: autógenas e heterógenas (Pyrrho, 2011).

À imagem científica, fundamentada numa perspectiva “de dentro” da ciência (Olivé, 2006), foi associada uma abordagem visionária das implicações éticas e sociais da nanotecnologia. Segundo esta imagem, a nanotecnologia promete implicar em profundas transformações na saúde e nos mais diferentes ramos de indústria, transformando profundamente a vida humana nos mais diversos âmbitos. Este exercício de predição é o discurso prevalente entre os cientistas, e revela as expectativas que estes têm sobre a aplicação do conhecimento e dispositivos resultantes de suas práticas. Não há, porém, uma necessária correspondência entre o tamanho da expectativa e os resultados científicos atuais. As implicações éticas mais visitadas por esta imagem são aquelas derivadas das expectativas dos cientistas, quer sejam resultantes de um futuro promissor e revolucionário, quer sejam os riscos diretos que os dispositivos e produtos poderiam apresentar para a saúde e para o ambiente (Schummer, 2004b). Devido ao prestígio que os cientistas gozam na sociedade, as implicações éticas das nanotecnologias mais abordadas e consideradas nos debates são aquelas validadas pelo discurso científico.

Estas implicações levantadas a partir de uma imagem científica da nanotecnologia foram denominadas *implicações éticas autógenas* porque tanto o objeto, - no caso, os derivados nanotecnológicos -, quanto suas repercussões, e até mesmo as estratégias propostas para enfrentá-las, são concebidas a partir de uma só perspectiva: a técnica. As implicações são autógenas porque causa, efeito e remediação são todos pensados a partir de uma mesma perspectiva interna à ciência,

ou seja, a partir da imagem científica de ciência possuída pelos próprios cientistas. As implicações éticas autógenas da nanotecnologia mais citadas são as repercussões para a saúde humana e o meio-ambiente. Estas parecem resultar mais diretamente da aplicação dos adventos pelo homem, e comumente são acessadas sem uma análise da interferência de outros fatores sociais, culturais, econômicos, etc. (Pyrrho, 2011).

Usualmente, nas implicações autógenas, as repercussões identificadas e as abordagens propostas costumam vir imbuídas de uma percepção de que o desenvolvimento da nanotecnologia é inevitável e são acompanhadas de uma fascinação em torno de sua realização (Sparrow, 2007). Nesta perspectiva, o debate ético tende a se resumir aos tópicos referentes aos riscos toxicológicos e ambientais, ou seja, o discurso científico a respeito das implicações da nanotecnologia expressa uma expectativa de que os benefícios dos produtos tecnológicos resultem de forma mais ou menos automática do avanço tecnocientífico, como se este fosse um bem em si (Ferrari, 2010). Os efeitos negativos, por sua vez, seriam resultado do erro no uso ou na finalidade que se dá aos dispositivos e por isso a ciência e os cientistas, propriamente, não teriam responsabilidade moral. Os riscos e efeitos negativos seriam externos à atividade científica, sendo a ela atribuída uma espécie de neutralidade moral.

A principal abordagem proposta ao debate ético das implicações éticas autógenas é a análise de riscos, que se dá a partir do referencial tecnocientífico. Neste contexto, apesar de não possuir responsabilidade moral pelos impactos, é a ciência que lhes oferece soluções. Inevitavelmente, as propostas de intervenção sobre os impactos na saúde e meio-ambiente são majoritariamente elaboradas a partir de uma intervenção técnica. Esta visão reflete uma configuração cada vez mais comum nos debates éticos: a busca de soluções técnicas para problemas morais (Pyrrho, 2011).

Já as chamadas implicações éticas heterógenas da nanotecnologia são originadas das interfaces entre as diversas dimensões culturais, sociais, econômicas, ambientais e políticas da nanotecnologia (Pyrrho, 2008). Fundamentalmente resultantes de interações complexas, assentam-se no caráter indissociável entre os elementos envolvidos na relação tecnologia-sociedade. Esta aceção toma os fenômenos sociais mais amplamente e atravessa as barreiras forjadas entre o artificial e o natural (Benakouche, 1999). As implicações assim percebidas demandam uma avaliação ética

que escapa à busca de relações causa-efeito e, conseqüentemente, a análises lineares de riscos.

As implicações éticas são cunhadas como heterógenas porque evento e consequência têm, por assim dizer, origem em imagens diferentes da ciência. Enquanto os dispositivos nanotecnológicos são fruto de atividades desenvolvidas em um contexto dominado pela “imagem científica”, isto é, a partir de uma perspectiva interna à atividade científica, os complexos fenômenos sociais e culturais decorrentes de seu emprego são pensados e abordados por uma perspectiva “metacientífica” da nanotecnologia, que a encara como um fenômeno complexo em suas dimensões sociais, culturais, econômicas, etc. (Pyrrho, 2011). Assim, os aspectos ambientais, políticos, econômicos e de saúde pública, por reflexos mútuos, estabelecem correlações complexas.

Embora um aspecto comum às diferentes abordagens das implicações heterógenas seja a contextualização do desenvolvimento nanotecnológico, o enfoque desta contextualização e sua abordagem ética variam bastante. Podem ser citadas as abordagens consequencialistas, deontológicas, processos dialógicos de controle social e as análises de narrativas e de imaginários. Estas abordagens podem se dar sob o signo de diversos referenciais teóricos oferecidos por disciplinas como história, filosofia, antropologia, sociologia, ecologia, entre outras (Pyrrho, 2008).

A proposta de classificação do cenário dos impactos éticos das nanotecnologias em implicações éticas autógenas e heterógenas, considerando a falibilidade a que estão sujeitas todas as classificações, tem por intuito distinguir as interações que a proporcionam (Pyrrho, 2008).

Resumidamente, as implicações derivadas de forma mais direta dos processos de pesquisa, produção e aplicação da nanotecnologia são consideradas autógenas. Aqui, a reflexão ética que se fundamenta na análise de riscos, nem sempre possível, enfrenta um duplo desafio: o aprimoramento técnico, com o desenvolvimento de dispositivos adequados para tal avaliação, e a busca de novos parâmetros éticos que se sustentem mesmo diante da parcela do conhecimento não atingida (Pyrrho, 2008).

Já a abordagem das questões heterógenas, que trata das interações complexas tramadas entre sociedade, tecnologia, ambiente, política e economia, toma para si o

desafio de estabelecer prioridades temáticas necessárias para o indispensável processo de regulação e, ao mesmo tempo, dar conta da diversidade de seu escopo. As implicações heterógenas, apesar de sua relevância e plausibilidade, têm sido ofuscadas pelo grande apelo que as implicações autógenas e as análises de risco exercem no debate ético sobre as nanotecnologias (Pyrrho, 2008).

3.2.3. Revolução à vista? Expectativas de alterações da condição humana

Apesar de muitas divergências quanto à abordagem e às possíveis implicações éticas da nanotecnologia, uma das representações mais frequentes e disseminadas entre todas as concepções e imagens de nanotecnologia é o caráter fundamentalmente revolucionário do campo (NSTC, 2000; Drexler, 2004; Bostrom, 2007; Roco, 2011). Alguns autores chegam a afirmar que vivenciaremos a transição da “economia do conhecimento” para a “economia da nanotecnologia” (Cunningham, Porter, 2011).

Especificamente na saúde, a nanotecnologia possibilitaria benefícios como nanocomputadores e nanorrobôs que circulariam pelo organismo e monitorariam a entrega de medicamentos, inclusive no interior de células vivas. A ela seriam destinados feitos científicos grandiosos, como a síntese de órgãos e tecidos para transplante, a cura do câncer, a cura de doenças degenerativas por substituição de células neuronais. Isto tudo seria possível graças a sistemas de permanente monitoramento da homeostase, constituindo verdadeiros nanolaboratórios que não somente detectam, mas também tratam as alterações patológicas (Invernizzi, 2008).

Por outro lado, o desconhecimento atual do real alcance da nanotecnologia leva a reações contrárias extremas, alardeando riscos ambientais, implicações sociais e culturais. Exemplo é o debate em torno do chamado *grey goo*, que se refere à situação em que os dispositivos nanoescalares, os nanorrobôs, dotados de capacidade de autorreplicação ocupariam o mundo, fugindo ao controle humano e, por fim, eliminando a espécie do planeta (Drexler, 2004).

Diante do vulto de seus possíveis efeitos, reais ou imaginários, a nanotecnologia

é constantemente apresentada como uma verdadeira revolução: a próxima revolução industrial (Roco, 2001; Wonglimpiyarat, 2004). Esta acepção, compartilhada por cientistas, agentes políticos, empresários, autores de ficção científica e mesmo cientistas sociais e filósofos, não se dá sem motivos. Com efeito, o que se anuncia é mais do que um campo tecnológico derivado da ruptura epistêmica entre a física quântica e a cotidiana e conhecida escala macroscópica da física newtoniana. Neste sentido, avanços científicos, como a nanotecnologia, têm por vezes o poder de proclamar novas normas e estruturas do conhecimento; em suma, novas categorias cognitivas que remetem a uma nova forma de experimentar o mundo em que vivemos (Olivé, 2006).

Entre os recentes avanços tecnocientíficos, um bom exemplo de ruptura que foi bem além de seu campo científico é a profunda transformação na concepção de sociedade e parentesco que o estudo da genética introduziu, pois a forma de narrar e perceber as relações familiares e de explicar características da personalidade foram decisivamente alteradas (Franklin, 1995).

Em novelas, jornais, programas televisivos, revistas para o público feminino, livros sobre maternidade, os genes parecem explicar todas as dimensões humanas: explicam a obesidade, a criminalidade, a timidez, a inteligência, as preferências sexuais. São citados os genes do egoísmo, da violência, da celebridade, da homossexualidade, da depressão, e até da genialidade. A genética é também fundante para a constituição familiar atualmente: é nela que está inscrita a necessidade biológica de formar uma família e transmitir sua carga genética. As relações de parentesco são redefinidas e estruturam uma família em que os laços de tradição, história, experiências e recordações comuns são menos importantes do que partilhar a mesma carga genética (Nelkin, Lindee, 1995).

Estes discursos refletem a importância do gene e do DNA como ícones culturais, sustentados e legitimados pela existência de programas científicos importantes dedicados a estudos sobre genética. São estes estudos que acabam por dar credibilidade às explicações genéticas de um número sempre crescente de aspectos e comportamentos humanos (Nelkin, Lindee, 1995).

A partir da observação de avanços tecnocientíficos anteriores, é possível afirmar

que a amplitude de transformações que prometem acompanhar um tipo de conhecimento tecnocientífico como a nanotecnologia não vem somente para incrementar uma disciplina já estruturada ou alterar percepções e configurações culturais. Este tipo de inovação, por apresentar produtos e processos de características até então desconhecidas, provoca mudanças sem precedentes no mercado tecnológico, fazendo, desde já, emergir debates éticos significativos e acalorados tais como aqueles relacionados aos alimentos geneticamente modificados, por exemplo.

No entanto, concomitantemente aos atributos revolucionários, ela também é descrita como um conjunto de técnicas, uma caixa de ferramentas, que representa inovações incrementais a outros ramos, tais como telecomunicações, biologia molecular e informática (Brett, Hawkeye, 2008; Van den Heuvel, Dekker, 2007). Sob qualquer uma das perspectivas, sendo uma tecnologia revolucionária ou um avanço incremental, a nanotecnociência representa atualmente a vanguarda para a ciência. Este tipo de encontro com o “inovador” frequentemente traz algum grau de desajuste entre os costumes e a nova realidade que se impõe, o que demanda discussão e deliberação. Lidar com o novo parece trazer sempre, em alguma medida, a necessidade de enfrentar consequências que dificilmente podem ser previstas (Swierstra, Rip, 2007).

Especificamente na nanotecnologia, a lição inicial é que não é o tamanho que a caracteriza, mas as novas e desconhecidas propriedades químicas e físicas derivadas da manipulação da matéria em níveis nanoescalares. Portanto, o objetivo principal da nanotecnologia não é a obtenção direta do benefício vindo da redução do tamanho das partículas (Ratner, Ratner, 2003). O grande atrativo de se trabalhar em nanoescala residiria nas inovadoras e incomuns propriedades físicas e químicas, não encontradas nos mesmos materiais em dimensões micro e macroscópicas. Sendo, portanto, inviável conhecer todas as possibilidades de utilização e prever o alcance das consequências dos usos conhecidos. As características específicas da dimensão nanométrica, que proporcionam propriedades divergentes e inovadoras em relação às leis físico-químicas que determinam o comportamento do material nas “normais” escalas macroscópicas, podem implicar em significações éticas novas e em parte também imprevisíveis.

Assim, o conhecimento científico, em si insuficiente para proporcionar soluções morais, revela limitações na sua tarefa de descrever satisfatoriamente os fenômenos e

de fornecer informações suficientemente estabelecidas, necessárias à reflexão sobre seus impactos ecológicos, éticos, sociais e sobre a saúde.

No entanto, é sobre este arcabouço pouco sólido, sobre esta esteira em curso que as análises éticas precisam partir.

A nanotecnologia, reiterada e exaustivamente apresentada como revolucionária, pretende colocar ao alcance das mãos a possibilidade técnica de alcançar todas as pretensões humanas de organizar e controlar o mundo, desde sua menor unidade. A nanobiotecnologia, particularmente, aliada a técnicas de engenharia moderna, promete interferir, modificar e modelar qualquer característica do humano, do seu corpo e da sua mente, de acordo com sua própria conveniência (Zebrowski, Robin, 2006).

A nanotecnociência, desta forma, coloca em destaque os limites do que é humano, questão fundamental para a maioria das temáticas mais caras à bioética, como a clonagem, o Projeto Genoma Humano e as temáticas relacionadas à dignidade. Essa potencialidade de consequências éticas e antropológicas importantes está colocada desde os primórdios da trajetória científica da nanotecnociência. Por este motivo, há quem afirme que, mais do que o avanço tecnológico propriamente, o que há de mais inovador na nanotecnologia é exatamente a discussão ética que ocorre contemporaneamente aos acontecimentos científicos.

Na primeira referência ao tema, são as expectativas de transformação de nossa relação com o mundo, de ir tão fundo na estrutura da matéria, que motivaram o visionário Feynman (1961), muito antes que os cientistas pudessem explorar a manipulação e a conformação de compostos em níveis atômicos e moleculares. As transformações do mundo e do humano em pós-humano já estavam no imaginário científico antes mesmo de se fundamentar a ciência básica. Cenários apocalípticos habitaram a preocupação de todos, antes mesmo da nanotecnologia estabelecer claramente métodos e procedimentos.

Desta forma, não é a exploração tecnológica das novas propriedades nanoescalares que constituem a real novidade para Schummer (2007). Segundo ele, inédita é a forma como a nanotecnologia e suas imagens trazem à tona a relação entre sociedade, ciência e tecnologia, abalando fronteiras pré-estabelecidas entre o vivo e o não-vivo, entre o natural e o artificial.

É neste contexto, portanto, que a nanotecnologia em específico, e a biotecnociência, em geral, tornam-se objetos de análise para a bioética.

Expoente da tecnociência de seu tempo, provavelmente a nanotecnologia não inclua qualquer tema ou princípio novo para as discussões já estabelecidas sobre ética, pesquisa e ciência, pois levanta questões já conhecidas como privacidade, concepção de ser humano, justiça, riscos, eugenia (Keiper, 2007). No entanto, ainda é possível defender seu caráter revolucionário, visto que ela revela a faceta mais temida por alguns: como nunca, o progresso científico apresenta o ser humano, um animal que até agora fora sujeito à mesma pressão evolutiva que os demais, em vias de adquirir a capacidade de interferir e controlar sua própria evolução. O poder de interferir na evolução ou o discurso sobre este poder são os desafios impostos à análise dos impactos éticos e sociais da nanotecnologia (Susanne et al., 2005).

Portanto, a nanotecnologia não é aqui encarada como mais uma tecnologia, muito embora não seja possível afirmar que os desafios éticos que impõe sejam completamente novos (Nordmann, 2004; Allhoff, 2007). A nanotecnologia destaca-se entre as biotecnologias modernas, em distinção às biotecnologias tradicionais que acompanham os seres humanos pelo menos desde que aprenderam a utilizar microrganismos para produzir gêneros alimentícios. Neste sentido, figura talvez como a mais recente e representativa das biotecnologias modernas, advindas da revolução biológica no fim dos anos 1970 (Schramm, 1999), uma revolução prático-cognitiva que torna possível práticas de engenharia genética a partir da interação entre biologia molecular e a informática.

Cabe perguntar aqui por que o debate sobre a nanotecnologia ganhou tamanha dimensão, por que esta tecnologia causa tanta comoção e outras biotecnologias, como o velho uso de bactérias para a síntese de enzimas e biocomponentes humanos, não geram tanta polêmica.

Por que certas conquistas – a chegada à Lua, a fissão atômica, a determinação da sequência do genoma humano – estão imbuídas de tamanha significância emblemática? A razão é, creio eu, que elas mudam a maneira como nós pensamos sobre nós mesmos (Pääbo, 2001, p.1219-1220).

São justamente as expectativas em relação à nanotecnociência e seu impacto sobre o ser humano, seu corpo, sua identidade individual e social que tornam o debate

ético sobre a nanotecnologia tão acalorado (Lenk, Biller-Andorno, 2007; Grunwald, 2005; Grunwald, Julliard, 2007). É a transformação da condição humana a preocupação basilar a todos os outros problemas.

Esta questão é fundante para o debate das implicações éticas da nanotecnologia como um todo e perpassa as diversas concepções e abordagens existentes. A imagem metacientífica e as implicações heterógenas geralmente trazem esta relação com a condição humana de forma mais evidente, mesmo quando escolhem colocá-la para depois ou como uma preocupação secundária diante de consequências sociais consideradas mais imediatas, como o aumento das desigualdades sociais (Ferrari, 2008).

Inúmeros estudos revelam essa predisposição que a imagem metacientífica tem para abordar os impactos éticos a partir de uma visão mais ampla de suas consequências. De fato, a imagem metacientífica reconhece a capacidade que inovações tecnocientíficas têm para determinar novas práticas sociais, de consumo, de subjetivação e, às vezes, para reformular as perspectivas intelectuais e cognitivas dominantes na sociedade (Premebida, 2008).

Dentre estas perspectivas metacientíficas, uma das formas de se encarar a questão da condição humana levantada pela nanotecnologia é oferecer um contexto histórico-social mais amplo.

Sibilia (2008) dá um exemplo desta perspectiva. Segundo ela, as nanotecnologias são parte de um novo campo de saber, de progresso e potência crescentes, que foi constituído a partir da segunda metade do século XX. Trata-se de um conjunto de explicações teóricas e ferramentas técnicas que encaram o corpo humano de uma forma nova. Com efeito, a perspectiva da era industrial de que o corpo seria animado por uma essência misteriosa inacessível ao conhecimento humano é substituída por outra imagem: o corpo humano é uma máquina cada vez mais compatível com nossos artefatos de ponta. Neste novo contexto, as 'essências' estão deixando de ser enigmáticas porque podem ser convertidas em informação digitalizável que, uma vez extraída, torna-se compatível com as nossas máquinas. Essa informação não é apenas passível de decodificação, mas pode ser editada. Essa possibilidade de edição anuncia uma mutação antropológica marcada pela reprogramação de

características e funções, alterando o que costumávamos conhecer como humano. Este marco determinaria uma nova fase de nossas existências, inaugurando o que alguns denominam era pós-orgânica, pós-biológica ou, inclusive, pós-humana (Sibilia, 2008).

Contudo, a questão da condição humana não é exclusividade das concepções metacientíficas do debate.

Ao tratar do tema como uma “revolução tecnológica”, uma “ruptura”, a “próxima revolução industrial”, os cientistas reconhecem na nanotecnologia um imenso potencial para o desenvolvimento econômico, assim como ganhos para a saúde e qualidade de vida e do meio ambiente. Por vezes, de forma bastante inespecífica, expressam este otimismo ao ressaltar a capacidade de trazer grandes “benefícios para a humanidade” (Invernizzi, 2008).

Segundo o discurso científico, o controle absoluto proporcionado pela nanotecnologia sobre a síntese de produtos e dispositivos permitirá que outras tecnologias alcancem suas metas antes inatingíveis. Assim, dispositivos nanotecnológicos permitiriam enfim uma manipulação genética eficaz, possibilitando a terapia gênica. Seriam também dispositivos nanoestruturados a tornar cada vez mais compatíveis a memória humana e os atuais computadores (Roco, 2011).

Porém, o discurso dos cientistas sobre as nanotecnologias e suas projeções de crescimento não tem somente um caráter técnico, mas constitui uma produção simbólica, embora não como qualquer outra. Por meio da ciência, os seres humanos expressam o mundo no qual se inserem, partilham uma representação do mundo. O discurso científico, como produção simbólica e cultural, parece ser envolvido por uma aura especial, pois é considerado “objetivo”, “confiável”, “verdadeiro”, ou seja, consiste em um discurso simbólico que vai além de uma simples descrição do que é possível ser feito (Premebida, Neves, 2009). No caso da nanotecnociência, os cientistas têm o poder de legitimar, por meio de suas falas, práticas públicas de incentivo à pesquisa no ramo. Neste sentido, o discurso científico tem o prestígio para validar as próprias práticas e muito mais. Com suas propriedades de objetividade e cientificidade, ocupa lugar privilegiado na cosmogonia moderna, volta a mitos antigos e explica um universo que surge do nada ou do caos, apela a um número de possibilidades finitas, que foram visitadas tanto pela ciência como por mitos e religiões. No entanto, a ciência enquanto o

principal discurso de poder atual torna-se a palavra final - ou no caso inicial- na explicação da criação do mundo (Gleiser, 1997).

Esta aproximação entre a ciência e os mitos, como paradigmas explicativos do mundo é evidenciada por Lévi-Strauss:

Para o homem comum – todos nós – esse mundo permanece inatingível, exceto pelo viés de velhos modos de pensar que o especialista consente em restaurar para o nosso uso (e às vezes, infelizmente, para o seu próprio). Do modo mais inesperado, é o diálogo com a ciência que torna o pensamento mítico novamente atual (Lévi-Strauss, 1993, p.11-12).

Esta analogia entre os mitos e a ciência, enquanto grandes sistemas explicativos da realidade, se aproxima à perspectiva de Latour e Woolgar (1997) de que a ciência representa o eixo central e o argumento fundante na forma de ver e pensar o mundo e a si próprio na sociedade ocidental.

Desta forma, a ciência não apenas valida os discursos sobre a criação do mundo, mas também modifica as representações que o homem elabora sobre seu entorno e sobre si mesmo:

Se o homem é o ser que não se contenta em coincidir consigo, como uma coisa, mas que se representa a si mesmo, se vê, se imagina, se dá de si mesmo símbolos, rigorosos ou fantásticos, é evidente que em contrapartida, toda mudança na representação do homem traduz uma mudança no próprio homem (Merleau-Ponty, 1962, p.342).

O discurso científico, portanto, influencia as representações sobre o humano por levar a crer na possibilidade de que o corpo poderia ser finalmente melhorado, ter suas capacidades amplificadas. Em suma, aliados à biotecnologia e à genética, os nanodispositivos poderiam finalmente cumprir o projeto de superar os presentes limites do corpo, de seu envelhecimento e adoecimento.

Essa superação, porém, ocorre em duas frentes aparentemente opostas. Por um lado, a nanotecnologia aponta para a possibilidade de manipular o corpo de forma a proporcionar novas habilidades ao humano, a aumentar força e resistência física dando origem a uma nova horda de superatletas e supersoldados. Por outro lado, no embalo da cybercultura, os nanodispositivos permitiriam uma digitalização de nossas memórias por meio de interfaces homem/máquina, levando à expectativa de uma existência sem corpo, imortal e virtual. Assim sendo, a nanotecnologia possibilitaria um melhoramento do humano, por meio de duas vertentes aparentemente paradoxais: agiria para tornar o

corpo perfeito, ou para torná-lo obsoleto e desnecessário (Lin, Allhoff, 2006).

Portanto, o discurso científico sobre as nanotecnologias afirma que, para o bem ou para o mal, pelo corpo ou pela mente, as nanotecnologias transformarão profundamente o que conhecemos por humano e que é nisso que fundamentalmente se assenta seu caráter revolucionário. Dado o papel determinante do discurso científico nas formas de representar o homem e seu entorno, sua fala sobre futuras transformações na condição humana tem o poder de mudar a maneira de representá-la, e isso tem implicações éticas importantes (Dupuy, 2007).

Desta forma, o anúncio das transformações tem já derivações éticas, que não dependem necessariamente da realização das potencialidades dos dispositivos criados. Exemplo disso é o Projeto Genoma Humano que, conforme já mencionado, mesmo estando distante das iniciais promessas de desvendar o segredo da vida, ocupa um papel icônico na sociedade ocidental na explicação das características fundamentais do indivíduo (Nelkin, Lindee, 1995).

Portanto, uma análise ética que parta do pressuposto de que os discursos e narrativas sobre avanços tecnocientíficos podem trazer implicações importantes não é um estudo apenas teórico do discurso. Com efeito, este tipo de análise demonstra que a dimensão discursiva não somente revela as dimensões sociais e técnicas dos avanços biotecnocientíficos, mas as transforma também (Sparrow, 2007).

No entanto, apesar da crescente produção científica e aprofundamentos sobre as questões éticas relacionadas à nanotecnologia, nem mesmo os atuais esforços de contextualização abrangem todas as possíveis implicações éticas sobre a nanotecnologia; ou seja, cada uma das estratégias levanta aspectos importantes e diversos entre si, mas que não esgotam o debate (Ferrari, 2010).

Retomando a proposição de utilizar o estudo da nanotecnologia e suas diversas abordagens éticas para a reflexão da própria prática bioética, é preciso ponderar sobre as circunstâncias e os objetivos de cada uma dessas abordagens. É preciso analisar por que nenhuma das presentes estratégias dá conta da nanotecnologia enquanto objeto de análise.

Isto se dá porque essa tecnologia, como outras vertentes do paradigma biotecnocientífico, não é percebida em sua natureza híbrida. Segundo Latour (1994), a

tradição crítica sobre a condição moderna desenvolveu três repertórios para analisar o mundo: a naturalização, a socialização e a desconstrução. Estas perspectivas são mutuamente excludentes:

Os críticos desenvolveram três repertórios distintos para falar de nosso mundo: a naturalização, a socialização, a desconstrução. Digamos de forma rápida, e sendo um pouco injustos, Changeux, Bourdieu e Derrida. Quando o primeiro fala de fatos naturalizados, não há mais sociedade, nem sujeito, nem forma de discurso. Quando o segundo fala de poder sociologizado, não há mais ciência, nem técnica, nem texto, nem conteúdo. Quando o terceiro fala de efeitos de verdade, seria um atestado de grande ingenuidade acreditar na existência real dos neurônios do cérebro ou dos jogos de poder (Latour, 1994, p.11).

No entanto, o avanço científico e tecnológico tornou mais difícil encaixar os objetos resultantes das práticas humanas dentro destas perspectivas. A continuidade da história trouxe frutos da primeira, segunda, terceira revolução industrial, fatos socializados, fatos humanos. No entanto, todos de alguma forma se naturalizaram em suas implicações, ou seja, em suas consequências, esses fenômenos, quer construídos socialmente quer derivados da ciência, passaram a se tornar parte do mundo natural. Exemplo disso é o que vem se chamando de efeito antrópico no ambiente que, mesmo sendo objeto de controvérsias, oferece indícios de alteração na dinâmica da chamada seleção natural de outras espécies (Latour, 1994).

A proliferação destes quase-objetos, como o autor chama esses objetos híbridos de natureza e cultura, é fruto da constituição moderna. Esta se sedimenta em duas invenções: um discurso científico, que ao se pretender puro e neutro, constitui-se em um discurso político que defende a exclusão da dimensão política; e um discurso político, que consiste em uma política científica da qual a dimensão experimental deve ser excluída. Estas duas formas de explicar o mundo são mutuamente excludentes e para serem consideradas legítimas em cada um de seus âmbitos criaram a necessidade de ver o mundo em imagens duplicadas (Latour, 1994).

A ciência explicaria a natureza 'como ela é', mas não pode apelar à política. A política trata dos cidadãos e de suas relações sociais, mas não deve mobilizar os objetos tratados pela ciência. Característica da condição moderna, esta divisão do mundo no intento de purificação das explicações sobre os fenômenos, foi justamente aquilo que permitiu a proliferação dos objetos híbridos. Foi a própria divisão desses tipos de saberes que promoveu seu desenvolvimento, mas ao mesmo tempo revelou

novos objetos que não se encaixam perfeitamente em nenhuma destas perspectivas (Latour, 1994).

Antes das rupturas promovidas pela revolução industrial e, posteriormente, pela revolução biológica era mais simples saber se os fenômenos eram explicados pelas 'leis naturais' ou pelas 'leis políticas'. No entanto, quando nossas vidas cotidianas são invadidas por embriões congelados, por organismos modificados geneticamente, por mecanismos de liberação controlada de medicamentos, pelo Projeto Genoma Humano e por outros objetos que resistem a classificações e rotulações de "naturais" ou "sociais", permanece a impressão de que as categorias são por demais estreitas (Latour, 1994).

Assim, as estratégias que tentam analisar esses híbridos como fatos, ou como poder, ou como discurso, pressupõem e resultam não somente em uma ruptura entre natureza e cultura, mas também em um humano partido entre elas (Latour, 1994).

Neste sentido, estes objetos híbridos aos quais a cultura intelectual atual não oferece classificações, "são ao mesmo tempo reais como a natureza, narrados como o discurso e coletivos como a sociedade" (Latour, 1994, p.12). Esta constatação reflete necessariamente no modo de encarar a condição humana e as repercussões da nanotecnologia sobre ela.

No entanto, esta divisão entre natureza e cultura não é moderna. É este o motivo do título *Jamais fomos modernos* de Latour (1994). De certa forma, o esforço de estabelecer uma ciência isolada das influências políticas e uma política que não trata de fatos científicos não logrou em nenhum momento separar perfeitamente natureza e cultura. Deste modo, o sucesso da purificação dos fenômenos para que se tornassem somente objetos da ciência ou da política, ou seja, esta separação efetiva entre natureza e cultura, que seria o fundamento da condição moderna, jamais ocorreu.

O que nos diz, portanto, o fato de que jamais teríamos sido modernos? Esta escolha por uma perspectiva histórica que não privilegia a ruptura, fala obviamente sobre uma continuidade. Esta continuidade ocorre porque nem os modernos conseguiram promover a precisa cisão entre natureza e cultura e tampouco os pré-modernos operavam a partir de uma indistinção absoluta entre elas. A tradição, então, consiste justamente nos objetos híbridos de natureza e cultura, que foram abordadas e

diferenciadas entre si ao longo do tempo e do espaço a partir de critérios também diversos (Latour, 1994).

A purificação, ou seja, a interpretação de situações como possuindo uma natureza exclusivamente científica, política, social, econômica, ideológica, só é superada quando se atina para o caráter híbrido dos objetos e do próprio homem. A distinção entre os polos cultura e natureza, impostos na classificação dos objetos, é consequência da mesma distinção operada na representação que o homem faz de si.

A continuidade reside, assim, no fato de que o homem é simultaneamente agente e objeto desta atividade de distinguir natureza e cultura. No entanto, isto não se deu sempre da mesma forma.

O que há de revolucionário, portanto, na nanotecnologia é justo aquilo que apela ao mais contínuo questionamento sobre o que é o humano.

Eis o porquê da questão da condição humana perpassar a reflexão ética sobre as biotecnologias, entre elas a nanotecnologia: estas novas tecnologias, como objetos híbridos, são resultado desta separação entre natureza e cultura e ao mesmo tempo alteram os próprios critérios que determinam a diferença entre elas e, portanto, aqueles entre o humano e o não-humano.

4

CONDIÇÃO HUMANA E BIOÉTICA: ESCLARECENDO AS RELAÇÕES

A afirmação de que é justamente o anúncio de uma mudança na condição humana aquilo que torna a nanotecnologia revolucionária tem recebido críticas (Ferrari, 2008). Além da suposta falta de utilidade e de originalidade, esta visão recebe um questionamento ainda mais severo quanto a sua própria legitimidade. De fato, quando o tema é a questão da condição humana, parece haver, principalmente no âmbito das ciências humanas e sociais, certo descrédito: haveria ainda espaço para falar sobre este tema depois de tantos avanços das ciências – sociais, humanas e biológicas – desde o Séc. XVIII? Por que procurar algo universal se a ciência dá provas sempre crescentes da diversidade (Sganzerla et al., 2012)?

Por trás desta crítica, encontra-se uma perspectiva de que cada uma dessas áreas e subáreas científicas constitui uma *antropo-logia*, na medida em que se dedica ao estudo do homem em alguma de suas dimensões. Estas dimensões demonstraram-se tão diversas e irreduzíveis entre si, que se torna, portanto, difícil prestigiar algum esforço no sentido de afirmar que haja algo como *uma* natureza ou *uma* condição humana universal (Sganzerla et al., 2012).

Devido à diversidade e à complexidade humanas, portanto, existiriam diversas *antropo-logias*. Neste panorama, uma possibilidade seria, portanto, compreender a ética enquanto uma antropologia moral, já que seu objeto é a moralidade enquanto dimensão humana. Esta antropologia, porém, não poderia pressupor uma universalidade humana, dadas as tão diferentes manifestações de experiências morais.

No entanto, são os próprios avanços científicos que, paradoxalmente, recolocam a questão da condição humana sob nossa atenção. Em particular, a busca por um consenso moral universal a respeito da incorporação das novas tecnologias continua

sendo desejado. Com efeito, apesar do descrédito e das recusas das ciências sociais e humanas, o fascínio e o medo persistem derivando desta expectativa de mudança do que se entende por humanidade.

Este capítulo inicia por demonstrar que essa busca por uma fundamentação universal da moralidade não é uma novidade trazida pelas biotecnologias. Pelo contrário, esta procura constitui o próprio cerne da reflexão ética e se fundamenta na pressuposição de uma existência universal do fenômeno da moralidade.

Assim, a questão da condição humana não é um tema eventual para a ética, ou um novo desafio trazido pelas novas biotecnologias, ela é o arcabouço de toda a tradição da reflexão ética. Em sua continuação, o capítulo busca ilustrar como a bioética se localiza nesta tradição ética, qual sua relação com a condição humana e de que forma as biotecnologias se colocam nesta interface.

4.1. A ÉTICA E A CONDIÇÃO HUMANA

Nas últimas décadas, por vezes identificadas como pós-modernas ou pós-industriais, assistimos eventos que alteraram e reconfiguraram realidades locais e globais. Segundo Kleinman (1999), vivemos com a sensação de que a vida cotidiana é invadida por fenômenos antes distantes, como as flutuações do mercado financeiro global.

Isso parece ser um indício de que, por um lado, as realidades locais e seus sistemas de valor são postos em contínua revisão devido a eventos de dimensões globais. Por sua vez, de forma sem precedentes, eventos locais tomam rapidamente dimensões globais, como evidenciam as epidemias de febres aviária e suína dos últimos anos (Kleinman, 1999).

Esta intensificação desconcertante da continuidade entre o local e o global faz parecer cada vez mais urgente a necessidade de uma moral universal que prescreva tipos de comportamento capazes de resolver a conflituosidade inerente às relações humanas.

No entanto, quer pelo viés de uma diversidade cultural irreduzível, quer por uma

compreensão da moralidade como algo meramente subjetivo, fundamentar uma moral universal nunca foi tão difícil e, paradoxalmente, a urgência em fazê-lo nunca foi mais sentida, pois, afinal, os resultantes dos avanços biotecnológicos potencialmente atingem a toda humanidade e podem ser determinantes, para o bem ou para o mal, para sua sobrevivência (Apel, 2000).

Esta busca por uma universalidade moral, característica da “bioética global” e atualmente movida em grande medida pelas potenciais implicações dos avanços tecnocientíficos, parece coincidir, paradoxalmente com um “colapso do consenso” (Engelhardt, 2012). No entanto, esta pretensão de universalidade bem como a dificuldade em dar razão e fundamentar esta mesma universalidade não são historicamente novas. A bem ver, o atual desencanto e descrédito em relação às tentativas de encontrar um terreno moral comum a todos os seres racionais, tônica da filosofia e das ciências sociais contemporâneas, não é inédita (Cortina, Martínez, 2005).

Entretanto, afirmar que a dificuldade e as polêmicas em relação à fundamentação da universalidade não são novidade não significa, de forma alguma, uma visão estática do problema. Não significa sequer que o termo universalidade foi sempre entendido ou que tenha fundamentado as teorias morais da mesma forma. Ao contrário, o que é humano é sua consciência moral, mas que é irredutivelmente intersubjetiva e histórica, isto porque a própria identidade humana só é construída pela capacidade de se colocar no lugar do outro, de um “tu” do passado, um “diferente de mim” no presente, com os quais formo a humanidade. E é desta capacidade de identificar a diferença e, ao mesmo tempo, a partir dela criar a própria identidade como humano que deriva a moralidade (Gadamer, 1999).

A ética, portanto, enquanto se dedica à questão da normatividade do agir humano, relaciona as perguntas sobre “o que é o homem” e “aquilo que se deve fazer” de formas diversas ao longo do tempo. Por esse motivo, a ética se revela situada histórica e temporalmente. Assim, a própria concepção de uma natureza ou condição humana com predicados próprios e exigências que lhe são essenciais também são construções históricas (Lima Vaz, 2011).

No entanto, o que se percebe é que, ao longo da história ocidental, nas diversas tentativas de identificar a moralidade como característica universalmente humana, o

fenômeno da moralidade tem sido descrito e justificado por meio de uma série de dualismos entre natureza e cultura, corpo e mente, humanidade e animalidade, indivíduo e sociedade, que, independentemente da sistematização filosófica, estão presentes.

Se, para fundamentar a moralidade, a ética se dirige, e procura para tanto dentre estes dualismos, um homem universal, explicitado pelo conceito de “humanidade do homem” (*humanitas*), concebida como uma característica universal de qualquer *homem*, a bioética é justamente o mesmo exercício que se dá em meio de um contexto onde esta unicidade do homem não somente parece ser difícil de fundamentar, mas em que a própria condição humana, ainda sem forma definitiva, encontra-se ameaçada em sua própria sobrevivência.

Por este motivo, as fronteiras sobre as quais a bioética reflete derivam justamente da paradoxal necessidade de discutir aquilo que caracteriza a existência humana, para fundamentar a moralidade, enquanto esta mesma existência encontra-se ameaçada. É sob esta perspectiva que o percurso até aqui percorrido torna-se importante para entender a relação que se estabelece entre os objetos que a bioética toma para si. Aparentemente tão diversos, os temas do início da vida e do consentimento livre e esclarecido, as iniquidades em saúde e as novas biotecnologias guardam entre si a mesma esteira móvel em que se devem analisar e propor soluções aos problemas morais envolvidos: uma ameaça à condição humana e seu valor moral a ser ainda fundamentado.

Esta discussão contemporânea a respeito da relação entre condição humana e ética como um empreendimento universal que se dá somente a partir da identificação de uma moralidade universal à humanidade é cristalizada pela polêmica entre Sloterdijk e Habermas.

Esta discussão se estabelece entre uma ética teleológica de Sloterdijk, que identifica como objetivos a superação das atuais limitações impostas pela organicidade da condição humana, e uma proposta deontológica de Habermas, que pressupõe deveres com as futuras gerações. Neste debate, estão postos os dualismos entre natureza e cultura, artificial e natural, corpo e mente, presentes nas diferentes imagens de homem ao longo da história ocidental. Na oposição entre a visão de Sloterdijk, que

entende a seleção artificial e o melhoramento como uma potencialização das capacidades humanas, e a perspectiva de Habermas, que identifica tais procedimentos como um ultraje à dignidade humana, serão delineadas a seguir as questões até aqui colocadas como centrais para a bioética (Vilaça, 2009).

4.2. REFLEXÕES SOBRE ÉTICA E CONDIÇÃO HUMANA DIANTE DAS BIOTECNOLOGIAS

A polêmica entre Sloterdijk e Habermas inicia-se com uma crítica de Sloterdijk a Heidegger. Nesta crítica, Sloterdijk afirma que apesar de Heidegger ter se recusado sistematicamente a abordar a temática da ética, sua *Carta sobre o humanismo* possui claramente um intuito ético. Esse intuito, porém, não era estabelecer uma ética com intento normativo, mas como um âmbito de realização ontológica (Sloterdijk, 2011).

Ao ser questionado a respeito de como reestabelecer algum senso ao tema do humanismo, Heidegger critica a própria pergunta e avalia que não haveria razão para retomar o humanismo já que este seria responsável pela “catástrofe do presente”, referindo-se às duas Grandes Guerras. Segundo Heidegger, todo aquele cenário era resultado de sistemas metafísicos de autoelevação e autoexplicação do homem. Seria justamente esta exaltação desmedida do homem que traz consigo não somente estes grandes desastres, mas que estabelece a própria ética normativa como uma necessidade. Isso porque todas as formas de humanismo, o cristianismo, o marxismo e o existencialismo, evitaram tocar a radicalidade última da questão sobre a essência do ser humano e por isso o afastaram da verdade do *ser* (Heidegger, 1991).

O humanismo é criticado como um resultante da compreensão partida de Descartes. A separação entre as duas substâncias, a saber, o corpo e a mente, reduziu o pensar a uma técnica do pensar e o homem a um animal racional. Esta separação cartesiana constituiu o auge de toda a tradição ocidental de esquecimento do *ser*, segundo Heidegger (1991).

No entanto, o valor do homem estaria justamente em ser ele o único ente a quem é possível pensar sobre o *ser*. O homem, nesta perspectiva seria o guardião do *ser* e,

somente por sê-lo, estaria interessado em cuidar do ente (Heidegger, 1991).

É neste sentido que se percebe a inclinação ética da *Carta sobre o humanismo*, devido à motivação do cuidado do homem. No entanto, ao ser questionado a respeito da ética, Heidegger afirma que de alguma forma a ética só passa a ser necessária por uma compreensão errada a respeito da essência do homem. Quando este, ao estar no mundo, deixa de se preocupar com o ser, passa a necessitar de um conjunto de normas para nortear suas ações (Heidegger, 1991).

Assim, na perspectiva heideggeriana, o que é necessário para mudar esta situação de indigência no mundo, na qual o homem experimenta uma dominação pela técnica, não é uma nova orientação ética, mas uma orientação que é ontológica (Marques, 1989).

Embora negue a perspectiva ética, o autor insiste no *ethos* enquanto morada do ser. O *ethos* é tão importante para Heidegger, ao ponto dele definir o homem como aquele, que na totalidade dos entes, tem sua essência marcada pelo *ethos*. Mas o que o autor quer com esta valorização do *ethos* é estabelecer fundamentalmente uma crítica à tradição filosófica que privilegiou o *logos* em detrimento do *ethos*: o *ethos*, entendido também como um espaço de contato e vizinhança entre entes, teria sido preterido em favor da lógica. Como resultado desta relação desfigurada com o ser, resta ao homem somente recorrer a uma ética que apela à racionalidade em detrimento do *ethos*, uma ética apátrida e que oferece preceitos normativos que reforçam a indigência no mundo (Heidegger, 1991).

Em um diálogo extemporâneo, Sloterdijk (2011), se propõe a responder à carta de Heidegger e inaugura um dos diálogos mais polêmicos da filosofia contemporânea, e que passou a ser indicado como a polêmica Sloterdijk-Habermas (Vilaça, 2009).

Sloterdijk (2011), em seu *Regras para o parque humano*, retoma o exercício crítico ao humanismo proposto por Heidegger, mas certamente o faz de forma muito diversa, ao identificar que o humanismo ao longo da história foi sempre uma bandeira contra algo. Esta batalha propõe o humanismo como um movimento intelectual que pretende tirar o homem da barbárie. Desta forma, o humanismo é um desembrutecimento humano por meio de boas leituras, que conduzem à domesticação.

Segundo Sloterdijk (2011), Heidegger inaugura uma corrente trans-humanista ou

pós-humanista ao afirmar que se for para retomar o humanismo, como tinha sido feito anteriormente pelo cristianismo, marxismo e existencialismo, negando a radicalidade da questão da essência do ser humano, seria melhor abandonar o termo. A oposição de Heidegger ao humanismo não se dá, portanto, porque o humanismo tenha supervalorizado a *humanitas*, mas, pelo contrário, por não ter lhe dado valor suficientemente elevado.

Para Heidegger, a essência humana jamais poderia ser reduzida àquela de um animal com um acréscimo cultural ou metafísico. Se há algum motivo para reconhecer um valor insubstituível no homem é porque ele é escolhido pelo próprio ser para sua guarda. Por isso o homem é dotado da linguagem, não para entender-se e domesticar mutuamente, mas para que ela seja a morada do ser (Heidegger, 1991).

É neste sentido, segundo Sloterdijk, que Heidegger recupera e amplifica a função de dominação que o humanismo atribui aos textos:

O autocontido habitar heideggeriano na casa da linguagem define-se como escuta paciente e às escondidas do que será dado ao próprio ser dizer (Sloterdijk, 2011, p.28).

Nesse sentido, situar a morada do ser na linguagem é a mais potente forma de domesticar os homens. Mais do que o humanismo que aquietava os homens pela boa leitura, Heidegger os domestica de forma ainda mais eficaz: o homem precisa se calar para ouvir o que o ser tem a dizer. A crítica de Sloterdijk (2011) identifica que assim é proposta uma espécie de exercício ontológico de humildade que leva o homem a uma posição de servil ouvinte e, ao mesmo tempo, eleva o próprio Heidegger à posição de único porta-voz da verdade do ser.

Ambos concordam, porém, que a crise vivida no final das duas Guerras derivava do naufrágio do humanismo como escola de domesticação humana.

Desta forma, a principal crítica de Sloterdijk (2011) à leitura heideggeriana é a não contextualização histórica da forma e do espaço em que a domesticação do homem acontece. Ignora-se, assim, que o homem é não somente uma força domesticadora, mas também criadora. É em Nietzsche que Sloterdijk busca a história de como o homem pôs em prática sobre si mesmo uma sociabilização domesticadora. Em *Assim falou Zaratustra*, estabelece-se a diferença entre a criação dos homens para serem pequenos, domesticados, feita pelos humanistas, e a criação dos homens para

serem grandes, buscada pelos ultra-humanistas (Nietzsche, 2002).

Neste momento, Sloterdijk inaugura o argumento que engendra a grande polêmica: é em Nietzsche que se encontra um cerne sólido para estimular uma reflexão posterior sobre a humanidade além de uma inocuidade humanista, entendida como a domesticação dos homens para serem bons. Trata-se, portanto, da possibilidade que a era das antropológicas, potencializada pela biotecnologia, oferece para que o homem se torne ativo na seleção de seu destino, recusando a domesticação. Esta possibilidade desencadearia (pela verdade, já desencadeia) a necessidade de formular um código das chamadas antropológicas, as técnicas que mais do que domesticar criam humanos (Sloterdijk, 2011).

O autor defende que esta necessidade de estabelecer códigos de conduta pertence à humanidade como tal, já que a tendência humana a encontrar problemas complexos que são ao mesmo tempo inevitáveis e insolúveis remete ao próprio nascimento da filosofia. Assim, a organização do homem em comunidades, parques humanos, onde os homens convivem entre si e cuidam-se uns dos outros, bem como a normatividade necessária para decidir como será regulada sua automanutenção são características da condição humana e constituem a única possível fundamentação de uma dignidade do ser humano (Sloterdijk, 2011). Em suma, o que é humano para Sloterdijk é também o *ethos*, mas em sua normatividade, de forma oposta, portanto, ao que é colocado por Heidegger.

Assim, Sloterdijk propõe que atualmente são as biotecnologias que impõem essa necessidade de estabelecer regras para o parque humano. Dado que

(...) as meras recusas ou abdições costumam falhar devido a sua esterilidade, será provavelmente importante, no futuro, assumir de forma ativa o jogo e formular um código das antropológicas (Sloterdijk, 2011, p.45-46).

É neste ponto que Sloterdijk encontrará Habermas como seu forte opositor. O debate oscila entre uma posição trans-humanista de Sloterdijk, que pretende para o homem uma posição de sujeito ativo de seleção, e uma posição bioconservadora de Habermas, que defende uma autocompreensão ética da espécie supostamente ferida por uma seleção artificial do humano. Mais uma vez, a questão colocada pelas biotecnologias é a condição humana (Vilaça, 2009).

Habermas publica o conjunto de conferências que faz em resposta velada à fala

de Sloterdijk entre os anos de 2000 e 2002 com o nome de *O futuro da natureza humana: a caminho de uma eugenia liberal?* Nele, se posiciona contrariamente às intervenções biotecnológicas na genética humana (Habermas, 2004).

Para Habermas, a seleção artificial do humano afronta a autocompreensão ética da espécie, a autonomia e a autenticidade dos humanos. Estas características, essenciais à natureza humana e à moralidade, fundamentam-se, em sua visão, na vida natural, biológica (Habermas, 2004).

Apesar da natureza biológica compartilhada pela humanidade, a dificuldade de identificar um fundamento universal para a ética diante do pluralismo moral não passa despercebida. No entanto, é justamente no próprio fenômeno da moralidade e na necessidade humana de normatividade que se encontram as bases para a universalidade ética. Segundo o autor, a necessidade de normas nasce da intersubjetividade e é nesta intersubjetividade normatizada que se reconhece a possibilidade de convergência nas relações humanas. O ponto de partida para tal convergência se daria ao reconhecer que a dignidade própria e a do outro têm a mesma origem compartilhada: a natureza humana (Habermas, 2004).

A partir do reconhecimento que a moralidade humana existe e se fundamenta somente a partir da natureza biológica humana, enfatiza-se a necessidade de *remoralizar* a natureza humana, ou seja, torná-la novamente moral e normativamente indisponível à ciência. No entanto, o que Habermas propõe não é uma ressacralização e elevação da natureza humana, mas um reconhecimento de que aquilo que fundamenta a dignidade humana é a vulnerabilidade intrínseca à sua constituição biológica (Habermas, 2004).

Desta forma, a autocompreensão do indivíduo e, portanto, sua experiência moral passam pela percepção de sua corporeidade. No entanto, de forma diversa ao humanismo, essa natureza humana é percebida pela precariedade corpórea dos indivíduos, por sua vulnerabilidade. Para Habermas, é esta precariedade o cerne da vida moral. A imperfeição e fragilidade da existência corporal determinam a necessidade da vida social e das normas para com elas conviver (Habermas, 2004).

Nesta visão, a precariedade é essencial para o reconhecimento de si e do outro e não pode ser alterada, com riscos de que a interferência tire do indivíduo tanto esta

interface de reconhecimento quanto a sensação de autonomia (Habermas, 2004).

Portanto, também a seleção artificial humana não somente feriria a autocompreensão ética da espécie quanto a própria sensação de autonomia, ao tirar o homem do papel de único sujeito de seu destino (Habermas, 2004).

Este apelo pós-metafísico à natureza humana tem encontrado críticas justamente em sua fundamentação. O fato de que a precariedade da estrutura orgânica corpórea é algo compartilhado pela humanidade pode ser tomado como verdadeiro. É até plausível explicar dessa maneira a necessidade de viver em sociedade e o estabelecimento da moralidade a partir desse pressuposto. No entanto, a argumentação de que esta precariedade não deve sofrer intervenção é objeto de críticas. O motivo pelo qual a diminuição da precariedade fere a dignidade, em vez de incrementá-la, não fica claro ou suficientemente argumentado. Pode-se ainda questionar: se a dignidade humana é algo acordado dialogicamente entre visões plurais na visão de Habermas, por que a intervenção biotecnológica, consensuada pelo intermédio do diálogo, não poderia ser também entendida como um incremento à dignidade? (Vilaça, 2009).

Se para Habermas (2004), o futuro da humanidade é assegurado e preservado em sua dignidade pela manutenção da precariedade corpórea, Sloterdijk (2011) argumenta justamente o contrário. Enquanto para Habermas (2004) a vulnerabilidade é fundamental para a concepção moral de pertencimento da espécie e para o estabelecimento de regras para a convivência em interdependência entre os humanos, para Sloterdijk (2011) a dependência baseada na precariedade não é algo a ser preservado, muito pelo contrário. Assim, a autonomia do indivíduo em Sloterdijk (2011) não é ameaçada pelas biotecnologias, ao contrário, ela é potencializada. Em vez do acaso ou da provisão divina, a era biotecnológica representaria um momento sem precedentes no qual o homem pode se tornar finalmente dono de seu destino e ativo nos processos de seleção.

Outro argumento de Habermas (2004) contra uma criação artificial de humanos é a possibilidade das pesquisas genéticas servirem a interesses de investidores e representarem por consequência um potente mecanismo de acirramento das desigualdades sociais. Esta é uma preocupação de fato relevante e dificilmente

encontrará opositores. Diante da possibilidade de que as desigualdades sociais passem a se expressar geneticamente, fica clara a necessidade de se estabelecerem normas para a distribuição dos benefícios das intervenções tecnológicas.

Sloterdijk (2011) não nega a necessidade da regulação. Ao contrário, afirma que o mais importante neste momento único, em que o homem se expressa como o mais alto poder para o homem, é que as decorrentes relações de biopoder precisam ser normatizadas. É em consequência da possibilidade de um papel ativo na seleção e criação do próprio homem que se torna necessário o estabelecimento de normas.

É conforme esta conclusão de Sloterdijk (2011) que a nanotecnologia e suas potencialidades são encaradas ao longo desta tese. Para além do bem e do mal, a história do humanismo parece evidenciar a ineficiência teórica e prática de pensar um homem como um ser bom e inócuo. Diante das potencialidades da nanotecnologia e outras biotecnologias, mais do que a proibição, é necessário o estabelecimento de normas para lidar com a mudança da condição humana operada pelas biotecnologias. São necessárias novas regras para o parque humano.

Dado que, independentemente dos protestos, o desenvolvimento científico caminha aceleradamente para uma intervenção biológica cada vez mais acentuada, e que o apelo a uma obediência cega ao curso da história parece temerário, torna-se evidente que, para lidar com as novas relações de biopoder, a fundamentação da moralidade humana precisa buscar compreender a condição humana fora de uma base exclusivamente biológica, em contínua e crescente mutação.

Portanto, se o percurso de construção histórica da condição humana, tal como aqui proposto, nos leva a pensar a ética como uma busca da fundamentação da moralidade enquanto um fenômeno universalmente humano, a bioética não deixa de ser ética também nesse sentido, ou seja, também a bioética tem como tema a questão da condição humana, ao mesmo tempo indefinida e ameaçada diante dos avanços biotecnocientíficos.

4.3. BIOÉTICA, AMEAÇA E CONDIÇÃO HUMANA

Por ser uma ética prática, também a bioética toma para si a tarefa de buscar uma fundamentação da moralidade enquanto fenômeno humano universal. No entanto, na sugestiva expressão de Geertz (2001), “existe algo no espírito do tempo”, algo do qual não se consegue escapar, uma visão de mundo que imprime profundamente uma percepção sobre todas as outras percepções.

Se, neste momento, a visão de mundo nos diz que as biotecnologias ameaçam a humanidade, a bioética é uma ética que ao mesmo tempo em que tenta encontrar uma fundamentação comum para a moralidade em comunidades culturais tão diversas, vive a sensação de que esta mesma humanidade encontra-se ameaçada. É justamente este o pressuposto que anima esta tese: a bioética se estabelece enquanto campo ao dedicar-se à questão da condição humana quando esta é ameaçada.

Mais especificamente, a bioética, ao tomar como tarefa tentar estabelecer um fundamento para a moralidade como um fenômeno universalmente humano, em meio a uma intensa pluralidade cultural, trata das questões relativas à ameaça da condição humana na contemporaneidade. É, por este, e não por outro motivo que transita entre temas e fundamentos aparentemente tão diversos como os resultantes das biotecnologias para a vida humana e outros temas mais persistentes como o acesso às condições materiais mínimas. Desta forma, a bioética, como ética prática fruto de seu tempo, ao tratar de questionamentos éticos a respeito da vulnerabilidade, da autonomia e da dignidade humana circunscreve não somente fenômenos nos quais a questão da condição humana está posta, mas também aqueles nos quais ela se encontra ameaçada.

Se é histórica a dificuldade de estabelecer consensualmente o que é universal para a ética, para a bioética o problema se apresenta ainda mais complexo. Ela se apresenta como um empreendimento que não somente tem problemas em estabelecer o que é universal no humano e como isto se expressa moralmente, mas intenta se opor àquilo que ameaça esta condição humana, ainda que a mesma não esteja claramente estabelecida.

Desta forma, formalizar normativamente uma análise das novas biotecnologias

só pode ser mesmo uma tarefa das mais difíceis: a bioética se propõe a defender a condição humana, que não é consensualmente definida, e é esta mesma condição humana que deve pautar a argumentação moral de sua defesa.

A bem ver, com a bioética emerge o reconhecimento da ameaça como um dos principais motores da moralidade. É a relação com o outro que possibilita essa ameaça, quer este outro seja um *eu* imaginário, de um futuro indesejado, quer seja uma outra cultura que desrespeita valores *nossos* inestimáveis. O importante aqui é a exposição ao desafio e à perplexidade impostos a nossas certezas, pelo mundo dos *outros*. O limite imposto pelo outro, pelo que é alheio aos valores e às categorias que organizam nossa realidade, causa-nos perplexidade e mostra a falibilidade, o caráter contingente e, portanto, arbitrário dos sistemas morais. A alteridade e a sensação de ameaça que ela impõe são, nesta medida, aquilo que possibilita a constituição de uma identidade, necessária à moralidade (Kleinman, 1999).

Neste sentido torna-se patente a importância desta sensação à condição humana para sua própria compreensão: a percepção de ameaça torna-se tão fundante, que a própria identidade humana se dá por negação. O que é humano se distingue, portanto, pela tentativa de traçar uma fronteira, ou seja, por uma separação daquilo que o ameaça. Toda a sistematização das categorias antropológicas e o próprio humano, por consequência, podem ser definidos por meio de uma dupla oposição: aquela entre humano e não-humano, e aquela entre humano e inumano (Cavarero, Butler, 2007).

A distinção entre humano e não-humano é de matriz aristotélica e trata da tradicional soberania do homem em relação ao animal. Por outro lado, há também um não-humano mais recentemente representado pelo resultado de sua obra sobre a natureza: o homem se distingue daquilo que produz, ou seja, do artificial (Cavarero, Butler, 2007).

O caráter de ameaça das biotecnologias se dá exatamente por tornar indistintas as fronteiras entre o humano e o não-humano, porque ao elevarem a característica biológica do humano o entendem como outro animal, no dizer de Habermas (2004), disponível moralmente para a ciência. Ele é não somente um animal, mas pode ter sua natureza biológica intercambiada com outros animais, por meio de transgenia. A interferência científica sobre o homem borra também a fronteira entre artificial e natural.

Principalmente com a soberania da tecnologia como fim último da racionalidade científica, o homem passa não somente a ser um animal racional, mas um animal cuja racionalidade melhor se expressa pela técnica, ou seja, a artificialidade faz parte de sua natureza (Cavarero, Butler, 2007).

Resta, portanto, a distinção entre humano e inumano, este que é a negação do humano, e ao mesmo tempo irredutivelmente humano. A distinção aqui não se dá por meio de uma classificação que o separa do restante do mundo dos seres vivos, mas pela maneira como o ser humano lida com a perplexidade diante de sua própria (in)humanidade. O inumano se revela na dupla possibilidade humana dos extremos da violência e da vulnerabilidade, ambos representados, na segunda metade do século XX, pelos campos de concentração. Também na distinção do inumano a categoria da ameaça é fundamental. Isto porque ao mesmo tempo em que essa inumanidade deve ser afastada, porque representa uma ameaça à existência, o inumano é intrínseco à condição humana (Cavarero, Butler, 2007).

É exatamente o exemplo de campo de concentração que Agamben utiliza para descrever o atual momento da descrição/construção da humanidade. O campo de concentração se torna central, pois representa o mais importante evento da biopolítica (Agamben, 2007).

A biopolítica representa uma mudança paradigmática em relação a toda a discussão a respeito da humanidade desde a antiguidade clássica. Nas palavras de Foucault, a biopolítica marca uma reviravolta na relação entre homem e política:

Durante milênios, o homem permaneceu o que era para Aristóteles: um animal vivente e, além disso, capaz de existência política; o homem moderno é um animal em cuja política está em questão a sua vida de ser vivente (Foucault, 2010, p.136).

É justamente o campo de concentração, de acordo com Agamben (2007), o auge da biopolítica. Este é o âmbito por excelência do que o autor chama de politização da vida nua. Ao se tornar o centro da política, a vida biológica coloca a relação entre vida e política em outros termos. O homem não somente é o animal capaz de vida política, mas sua própria vida, biológica, torna-se o principal objeto da política, ou melhor, da biopolítica.

Ironicamente, é da renúncia ao poder de fazer morrer, privilégio do soberano, e

da emergência do poder de fazer viver e da consequente assunção da vida ao posto de novo objeto de poder, constituindo o biopoder, que resultam os campos de concentração e os regimes nazistas e fascistas. Neste contexto, os genocídios ocorrem

(...) não por um retorno ao velho direito de matar mas, bem pelo contrário, em nome da raça, do espaço vital, das condições de vida e de sobrevivência de uma população que se julga melhor, e que trata o seu inimigo já não como o inimigo jurídico do antigo soberano, mas como um agente tóxico ou infeccioso, como uma espécie de “perigo biológico” (Deleuze, 1988, p.124-125).

É neste contexto que se estabelece um estado de exceção permanente, em que a vida nua, meramente biológica, antes à margem do ordenamento político, torna-se o centro dele. Este estado de exceção é experimentado exatamente por esta indistinção tão ameaçadora, entre homem e animal, entre *bíos* e *zoé*, entre vida política e vida biológica, entre direito e fato (Agamben, 2007).

É por este motivo, segundo Agamben (2007), que o fascismo e nazismo permanecem *desgraçadamente* tão atuais em sua decisão de tornar o controle sobre a vida nua a fonte do poder totalitário. Esta ferida aberta na história da humanidade, que representa esta indistinção entre inumano e humano sem precedentes, pública, e organizada em forma de Estado — o fascismo e o nazismo — é fruto na verdade de uma outra indistinção, aquela entre humano e não-humano.

Para Agamben, é a indistinção que o homem passa a realizar entre sua animalidade e sua humanidade, ao tornar política a tarefa de tomar conta da vida natural e animal do homem, que instauram aquilo que Foucault chamou de biopoder. Nesta medida, a discussão sobre a condição humana assume não uma dimensão metafísica da busca pela essência, mas uma dimensão prática e política fundamental sobre aquilo que nos separa dos animais (Agamben, 2002).

Essa indistinção, em sua face contemporânea, pode ter sua origem identificada no projeto científico, desde Lineu e sua taxonomia dos seres vivos. A partir de então, de forma definitiva, o homem é classificado cientificamente por esta indistinção (Agamben, 2002).

Para demonstrar essa última afirmação, Agamben esclarece que o homem é classificado até a décima edição do *Systema Naturae* de Lineu como da ordem dos *Antropomorpha*. É somente nesta edição que a ordem passa a se chamar *Primates* e

que a espécie humana passa a receber a denominação de *Homo sapiens*. O termo *sapiens*, no entanto, não se refere a uma aquisição intelectual que diferencia o homem dos outros primatas. Ao contrário, o *sapiens* se refere à capacidade de se perceber humano em comparação e, portanto, em semelhança aos outros do gênero *Homo*. Assim, o homem passa a ser definido cientificamente não por uma característica específica, mas pela consciência de sua semelhança aos demais. O homem é aquele animal que precisa se reconhecer enquanto animal para ser homem (Agamben, 2002).

O homem é, portanto, o único animal que é capaz de reconhecer-se enquanto tal e, por isso, negar este fato. Esta é a essência do que Agamben denomina de *máquina antropogênica*, um dispositivo irônico que passa a funcionar ao longo da tradição ocidental e encrava artificialmente uma cisão entre humano e animal, entre humano e inumano. O funcionamento desta máquina é marcado pela criação desta separação, de uma zona de exceção, um vazio que revelaria o que é verdadeiramente humano. Esta máquina antropogênica opera de forma a sempre deslocar e reposicionar estas cisões e suas articulações. Ela funciona, portanto, como uma instância de decisão incessantemente atualizada (*aggiornata*) daquilo que é verdadeiramente humano (Agamben, 2002).

É este vazio criado para ser um espaço de decisão que dá origem à *vida nua*, uma vida separada e excluída dela mesma. É a ascensão desta vida meramente biológica ao cômputo político que gera uma despolitização da sociedade humana e uma politização da vida humana, em suma, a biopolítica (Agamben 2007).

É este mesmo vazio que gera a sensação de falta de essência e identidade que acaba por elevar a genética ao papel cultural que assume atualmente. É para preencher este vazio que se opera a busca de uma herança comum a qualquer custo (Agamben, 2002). É a esta tarefa a que se lança a ciência. Como resultado da legitimidade social da ciência nesta busca, surge o papel atual da herança genética para a construção da imagem de homem.

4.4. GENÉTICA E CONDIÇÃO HUMANA

Se a biopolítica representa uma ruptura com a política clássica, ao fazer do homem o animal cuja política coloca em jogo sua própria vida biológica (Foucault, 2010), a genética, por sua vez, também representa uma ruptura com a tradição clássica acima descrita do dualismo psicossomático. A genética, ao identificar a singularidade humana a partir de seu código genético, faz com que o homem não possa mais ser definido por sua própria experiência. Sua percepção sobre o próprio corpo ou sobre sua própria consciência não são mais aquilo que o definem.

Esse dualismo estrutural psicossomático toma feições diversas ao longo da história. O dualismo clássico da *psyché* e *soma* do animal racional é reapropriado pela visão medieval da alma enquanto uma subjetividade incorporada, na qual alma e corpo são inseparáveis até mesmo no caminho para o juízo final. Este dualismo medieval mais sutil é sucedido por uma visão bastante radical, fundante para a contemporaneidade, em Descartes e em seu homem cindido entre elementos materiais e imateriais (Barbaras, 2003).

A visão cartesiana entendia a mente, porém, como uma instância ontologicamente superior. No entanto, é de uma extrapolação mecanicista, que ele mesmo não poderia prever, que surge a presente acepção da mente como uma máquina, igualmente material, extremamente mais complexa, mas ainda assim uma máquina (Barbaras, 2003).

O fato é que, nas diferentes concepções antropológicas, em graus diversos de conexão entre alma e corpo, em explicações mais ou menos materialistas sobre suas continuidades ou descontinuidades, este dualismo acabou definindo a identidade humana no pensamento ocidental. No entanto, esta perspectiva atualmente é deslocada para um terceiro elemento cuja principal característica é uma série de intercâmbios e paradoxos em relação à visão dualista anterior (Sibilia, 2006).

Como reflexo de uma busca por objetividade e, portanto, de uma materialidade do real, os saberes tecnocientíficos localizam no substrato biológico de cada indivíduo a fonte de toda sua subjetividade e ao mesmo tempo de sua humanidade. Em suma, a verdadeira essência do humano encontraria atualmente sua morada na carga genética.

No discurso científico de maior prestígio atualmente, aquele de base biológica, são informações (genéticas) que determinam o que o homem realmente é (Sibilia, 2006).

Portanto, o homem, em sua essência, é definido contemporaneamente não mais por seu corpo ou sua mente. Antes, tanto o corpo como a mente são pré-determinados em suas potências pelo código genético (Sibilia, 2006).

No entanto, ao mesmo tempo em que a objetividade científica torna o código genético corpo, porque o DNA é um componente biológico, o mesmo código é irredutivelmente racional, pois é informação, um conjunto de dados e comandos que geram consequências corporais.

Em outros termos, a genética embaralha o dualismo mente e corpo não somente porque explica e localiza biologicamente a razão - pressuposto comum de toda visão biológica da condição humana - mas porque racionaliza o biológico, ao explicar tanto o responder do corpo quanto o comandar da mente a partir de uma lógica própria da informática (Nelkin, Lindee, 1995).

Mais do que isso, torna-se paradoxal também a relação entre material e imaterial. Paradoxo, este, que por certas vezes aproxima o código genético, biológico e material, à imaterial alma da tradição cristã. Enquanto entidade que persiste além do corpo, que contem todos os elementos constituintes fundamentais do corpo, que pode trazer o corpo de volta à vida e como fonte da identidade e personalidade, o DNA assume um papel muito próximo ao de alma transcendente. E, como tal, qualquer manipulação que o envolva toma dimensões de polêmica e tabu (Nelkin, Lindee, 1995).

Ao identificar o código genético como código da vida, no lugar de uma relação entre um comando cerebral e uma resposta corporal, a essência humana passa a ser definida por uma relação digital entre a informação genética e as características fenotípicas, inclusive aquelas cognitivas. Ao estabelecer a essência em bases digitais, torna-se, portanto, a repousar a subjetividade sobre bases imateriais. Nesta redefinição do humano, o DNA, como molécula orgânica, é matéria e ao mesmo tempo se desmaterializa para se converter em energia vital, em informação (Sibilia, 2006).

Esta informação é, portanto, algo imaterial; porém, comodamente compatível com a aparelhagem digital atual. Não é por acaso que a relação entre *hardware* e *software* constitui uma metáfora privilegiada na hora de aludir ao funcionamento e

melhoramento humano (Sibilia, 2006).

Desta forma, podemos identificar um novo dualismo em que nosso *hardware* seria animado por um *software*. A intervenção genética sobre o corpo, o *hardware*, se daria então a partir da informação, a partir do *software*. Nesta visão tornam-se igualmente programáveis a mente e o corpo. Assim, a essência do sujeito está inscrita em regiões quase virtualizadas do seu capital genético, o que faz com que o mundo, o ambiente, os outros, a própria carne, mas também a mente se tornem alheios a essa essência e, portanto, passíveis de reformatação (Sibilia, 2006).

Portanto, é o papel da genética como definidora do homem que embaralha as diferenças entre corpo e mente/alma. Deste modo, a genética estabelece novas formas de biopoder, ou seja, novas maneiras de posicionar e compreender a vida biológica na vida política. Neste contexto, mais uma vez surge o espectro e o assombro da eugenia, ainda mais potentes: não somente o corpo torna-se disponível para a manipulação, mas também a mente, já que nenhum deles nos define. Já que somos informação, o resto torna-se consequência dela, disponível e passível para melhoramento (Sibilia, 2006).

É este o homem ao qual a bioética vem se referindo. No entanto, para enfrentar as questões éticas levantadas pela contemporaneidade não basta uma universalidade baseada em pressupostos genéticos. É preciso compreender o homem não somente a partir de sua natureza humana, mas a partir de sua condição humana, até mesmo porque a natureza biológica encontra-se enfraquecida como modelo de explicação da universalidade humana em ao menos duas maneiras.

O primeiro ponto fraco na defesa de uma universalidade a partir de uma natureza humana é aquele mais tradicional, abordada pelos antropólogos desde as primeiras experiências etnográficas: todo traço biológico escolhido para ser denominador comum do humano, como já ocorreu com traços fisionômicos e até com o cérebro, se apresenta em tantas variações que não serve plenamente ao propósito. Assim ocorre com a presente explicação da universalidade de base genética. Com efeito, há uma tamanha diversidade de definições de genes e da forma como eles se expressam e definem um fenótipo, que se anuncia com a mesma intensidade a diversidade de cargas genéticas entre os homens e a semelhança do genoma humano a de outros animais. É neste ponto que a genética, como discurso científico de embasamento da singularidade e

universalidade humana, perde a potência (Latour, 2004a). Nesta perspectiva, qualquer nova teoria de explicação exclusivamente biológica sobre a natureza humana perpetua uma dança imóvel que apenas desloca infinitamente o local de busca dessa mesma universalidade.

O outro aspecto que enfraquece uma fundamentação biológica da universalidade é a visão crescentemente compartilhada, principalmente pela antropologia de origem europeia, de que a análise da ciência contemporânea precisa desistir dos polos entre cultura e natureza. Nesta perspectiva, é preciso entender que a cultura somente é possível por um conjunto de configurações de natureza biológica e que a natureza, por sua vez, está sujeita a transformações pela cultura. As atuais biotecnologias, portanto, inauguram um novo momento no antigo embate entre “multiculturalismo” e “mononaturalismo” e trazem o “multinaturalismo” definitivamente à pauta na discussão sobre a condição humana (Latour, 2004b).

4.5. BIOÉTICA, BIOPOLÍTICA E IMAGEM CONTEMPORÂNEA DE HUMANIDADE

É neste contexto plural e indistinto no qual se desenvolve a bioética. Paradoxalmente é ao mesmo tempo animada por antigos dualismos entre mente e corpo, entre natureza e cultura, entre artificial e natural, animalidade e humanidade, vida política e vida biológica, material e imaterial, local e global e por suas crescentes indistincções:

A política clássica fazia uma distinção muito nítida entre *zoé* e *bíos*, entre vida natural e vida política, entre homem como simples ser vivo, que tem o seu lugar na casa, e o homem sujeito político, que tem o seu lugar na *pólis*. Pois bem, nós não sabemos mais nada acerca disso tudo. Nenhuma distinção nos é possível entre *zoé* e *bíos*, entre nossa vida biológica de seres vivos e nossa existência política, entre o que é incomunicável e mudo e o que é dizível e comunicável. Nós, como já escreveu Foucault, somos animais cuja política coloca em jogo sua própria vida de seres vivos. Viver num estado de exceção que se tornou regra tem significado que nosso próprio corpo biológico tornou-se distinto de nosso corpo político, que as experiências que nós dizíamos anteriormente políticas sejam bruscamente relegadas em nosso corpo político e que as experiências privadas se apresentem subitamente fora de nós, como corpo político (Agamben, 1996, p.145).

Na atualidade, a biopolítica, que centraliza a vida nua na ordem política, e o biopoder, que reconhece a vida biológica como fonte do poder, encontram um papel importante em tempos de globalização. O próprio *Império* é descrito como a forma de poder que tem por objetivo a natureza humana sendo, portanto, biopoder. Assim, em um contexto em que os Estados soberanos estão enfraquecidos enquanto força política, a soberania política em tempos globalizados é representada por forças dominadoras que tem o controle sobre a vida como fonte de poder (Hardt, Negri, 2001).

Neste sentido, o capital e seu papel histórico de determinar aquilo que está incluído no mercado e aquilo que está fora dele, culmina no *Império*, que se configura como a forma de soberania que resulta da realização universal do mercado. O *Império*, portanto, representa um estágio em que o capital realizou sua tarefa de expansão no qual não há mais um lado de fora do mercado. Neste estágio, o poder se torna um regime geral de dominação da vida, mas é também ela que se estabelece enquanto campo de resistência ao poder. É também nesse sentido que a política se torna biopolítica. É por este motivo que a pós-modernidade impõe outras necessidades teóricas, isto é, novos conceitos para entender um novo engendramento de forças (Hardt, Negri, 2001).

A bioética, portanto, se torna um mecanismo de oposição aos presentes processos relacionados à biopolítica. Embora os termos possam inicialmente parecer em relação de identidade devido ao prefixo *bíos*, esta aparente aproximação entre bioética e biopolítica ocorre por uma ambiguidade derivada da indistinção moderna entre *bíos* e *zoé* (Schramm, 2010c).

A indistinção é justamente aquela entre uma vida biológica, compartilhada com os animais, e uma vida qualificada como distintamente humana. É esta indistinção aquilo que permite a ascensão da vida nua ao papel de fonte de poder (Agamben, 2002).

É somente ao trabalhar nesta distinção que a bioética pode se contrapor à biopolítica. O papel da bioética, portanto, de identificar a maneira como as biotecnologias afetam o homem, não pode partir de uma compreensão da vida como meramente biológica nem pode ser escrava de uma biologização da vida política.

Para refletir sobre a forma como as biotecnologias afetam a vida humana, é

preciso compreender como a biopolítica legítima, sob a justificativa de sua proteção, qualquer interferência sobre o biológico. Por uma espécie de mecanismo imunitário que visa proteger a vida biológica, a biopolítica acaba por resumir o humano a esta única dimensão, ao mesmo tempo em que a torna completamente disponível para a intervenção biomédica tecnológica (Esposito, 2010)

É por esta ambiguidade do termo vida que a discussão bioética sobre a condição humana torna-se uma alternativa. Devido a uma indistinção entre o que é meramente biológico e aquilo caracteristicamente humano, o uso do conceito de vida acaba gerando uma discussão entre a defesa de uma vida como ela é, ou, contrariamente, a defesa de que é moralmente aceitável a alteração que incrementa a qualidade da vida (Schramm, 2009).

Como alternativa, pautar a bioética a partir da condição humana significa reconhecer a diversidade de formas e constituições possíveis de vidas qualificadamente humanas. A proposta é, portanto, colocar como centro da reflexão bioética, não a vida, em sua ambiguidade, mas a condição humana, em sua mobilidade. Assim, ao reconhecer a condição humana em sua diversidade de manifestações históricas, culturais e biológicas, a bioética compreende o poder da biotecnociência de alterar a condição humana, em suas dimensões biológicas e simbólicas.

Em suma, recupera-se a ligação entre o homem, a ética e bioética, pois se, por um lado, a ética representa o esforço de compreensão e descrição da moralidade enquanto um fator comum a um homem universal, por outro, este homem universal é redefinido ao longo do tempo por um mecanismo, uma *máquina antropogênica* (Agamben, 2002), que determina sempre diversamente o que é humano. Este dispositivo, ele mesmo, também está sujeito a atualizações. Assim, na vigência da biopolítica, o homem, entendido como animal político, é definido pela força política de seu tempo: a vida biológica continuamente redefinida em suas fronteiras pelas novas biotecnologias. É desta forma que as novas biotecnologias assumem o papel de novas facetas da máquina antropogênica.

A vigência do paradigma bioético, enquanto esforço ético de compreensão da moralidade, se desenvolve com a assunção das biotecnologias ao papel de máquina antropogênica, porque estas não só manipulam as fronteiras das condições humanas,

mas, constantemente, as redefinem. Nessa ética das novas antropotécnicas (Sloterdijk, 2011), o horizonte mais claro nesta busca do universal tem duas medidas: a própria explicação genética da vida biológica, e a ameaça universal causada por estas novas biotecnologias à condição humana.

Neste contexto, é preciso ter em mente que a Bioética, como qualquer outro campo - como nos ensina Bourdieu (2003) - não se constitui como campo científico a partir de uma busca desinteressada pela verdade. Ao contrário, é um campo porque é unido por valores e lutas.

No caso da Bioética, todas as suas narrativas de origem, quer seja aquela de ponte, de Potter (1971), que tinha uma preocupação com a interdisciplinaridade que deveria existir entre cultura humanista e cultura científica (Schramm, 2011), quer seja aquela de ética biomédica (Beauchamp, Childress, 2008), quer seja aquela dos movimentos de lutas pelos direitos civis (Mori, 2010), têm em comum um contexto de negação à explicação da realidade humana limitada ao discurso biológico. Neste sentido, é preciso lembrar que a própria bioética nasce da negação do pressuposto de neutralidade moral do conhecimento científico, como bem exemplifica o já clássico artigo/denúncia de Beecher (1966) a respeito de estudos clínicos altamente reprováveis eticamente (Katz, 1993), e que pode ser visto como um antecedente factual do movimento bioético. O que subjaz, portanto, ao surgimento da bioética não é um processo cumulativo e casual de fatos, mas o conjunto de dinâmicas socioculturais e econômico-políticas de gestão da vida (Jungues, 2011).

Nesta perspectiva, desde seu surgimento, a bioética atesta que a descrição da realidade biológica não basta às decisões morais justamente porque esta realidade não esgota a existência humana.

Neste sentido, a bioética precisa se afirmar não somente em oposição à pressuposta neutralidade moral científica, mas também à exclusividade do saber biológico na definição daquilo que é humano.

É obviamente inegável a importância que a vida biológica tem na construção atual da concepção de uma condição humana. É inegável a dimensão material que o corpo orgânico toma como a única estrutura capaz de agir e transformar a história. No entanto, o corpo só o faz dentro de uma cultura, uma circunstância histórico-cultural que

o possibilita como agente. Por este motivo, ao encarar a tarefa de compreender a moralidade humana em tempos biotecnológicos, a bioética não pode se guiar somente por visões biologicistas.

Se a bioética tem como objeto situações contemporâneas em que a distinção entre natureza e cultura não é nítida, isso só se dá porque no próprio homem esta separação não está dada.

A compreensão do que é o humano se dá somente na constatação de que suas dimensões são irreduzíveis, mas também inseparáveis: a condição física da animalidade, e a condição moral da humanidade. Nesse sentido, acredita-se que para pensar o homem

nosso problema principal seja resolver esse dilema, reconciliar a continuidade do processo evolutivo com a consciência de vivermos uma vida que se coloca além do *meramente animal*. Isso não pode ser realizado pela redução do estudo da humanidade seja a uma pesquisa da natureza e evolução da espécie *Homo sapiens*, seja a uma investigação da condição humana conforme manifestada na cultura e na história. Nossa meta deveria ser transcender a oposição entre essas concepções que têm se mantido tradicionalmente como territórios exclusivos da ciência natural e das humanidades. Em outras palavras, precisamos estudar a relação entre a espécie e a condição, entre seres humanos e ser humano (Ingold, 1994, p.31-32).

A bioética, portanto, para transpor a superfície dos problemas que analisa, necessita compreender em profundidade as estruturações do biopoder e a forma como elas configuram as práticas quotidianas e as opiniões morais. Em sua análise das biotecnologias, uma abordagem bioética adequada parte de uma compreensão ampla da dinâmica das configurações destas biotecnologias no contexto sociocultural e dos discursos construídos para sua justificação (Jungues, 2011).

Por este motivo, a presente tese na área de bioética pretende contribuir indiretamente para a reflexão normativa a respeito das novas biotecnologias. Ao tratar da nanotecnologia em especial, o objetivo não é alcançar um veredito normativo sobre este recente avanço tecnocientífico, mas propor uma reflexão bioética que parte de uma percepção do ser humano além de uma natureza humana, meramente biológica.

Ao conceber o homem como produtor cultural criativo da própria representação de si, esta tese assume uma perspectiva de que a condição humana se estabelece por um contínuo intercâmbio entre suas dimensões naturais e culturais e que sofre incessantes revisões ao longo tempo. Fundamentadas nesta compreensão de condição

humana, as páginas a seguir buscarão esclarecer como a nanotecnologia, depois da genética, enseja um novo capítulo para a representação que o homem faz de si e para a fundamentação ética e a reflexão bioética, portanto.

5

É POSSÍVEL UMA ANÁLISE ÉTICA DA NANOTECNOLOGIA QUE SEJA INOVADORA?

Um dos principais motes da presente discussão a respeito da moralidade da nanotecnologia é se de fato ela apresenta, do ponto de vista ético, algum tema ou desafio novos em relação às anteriores biotecnologias. Entretanto, independentemente de haver ou não novas questões éticas, é possível afirmar que as análises éticas sobre a nanotecnologia podem avançar em relação à forma atual de encarar as novas biotecnologias.

Para fazer isso, é importante fazer algumas distinções e evitar, assim, alguns obstáculos comuns enfrentados pelas atuais análises éticas das novas biotecnologias. A primeira distinção necessária é aquela entre ética e prudência. Dupuy (2007) afirma que para avançar nas análises éticas da nanotecnologia é preciso identificar o engano comum na redução da ética à mera prudência. O engano se deve ao fato de que a motivação da prudência, comumente compreendida no contexto das novas biotecnologias como um gerenciamento racional dos riscos, não é necessariamente moral, visto que pode referir-se tão somente a danos, mas não a todos os danos evitáveis.

Este é um ponto importante, já que, como nunca, os projetos sobre nanotecnologia vêm acompanhados, desde o princípio, de estudos ELSA (sigla em inglês para Aspectos Éticos, Legais e Sociais). Porém, é justamente a distinção entre a ética e a prudência que deve contextualizar a compreensão da existência destes projetos e sua eventual adequação do ponto de vista moral.

Em comum, estes estudos remetem, em suas justificativas, à recepção pública

negativa dos OGM. Nesta perspectiva, a iniciativa política e científica de engajar o público nos debates não visa propriamente uma participação decisória, mas pretende ser uma instância de esclarecimento ao público a respeito da nanotecnologia (Moore, 2002; Brumfiel, 2003; Macnaghten, 2010). Percebe-se, portanto, que a prudência por trás das preocupações em relação à nanotecnologia não tem uma motivação exclusivamente moral, pois a participação pública pode representar uma medida para evitar controvérsias e impedir um rechaço público conforme o ocorrido com os OGM, o que obviamente teria impactos econômicos no mercado de produtos e dispositivos nanotecnológicos (Dupuy, 2007).

Portanto, para as novas biotecnologias, bem como para a nanotecnologia, é importante compreender que a ética não pode por ser compreendida como sinônimo de prudência até mesmo porque, nas presentes abordagens éticas das biotecnologias, a prudência é entendida como uma habilidade de arrazoar a respeito dos riscos, o que pode ter motivações diferentes das morais, como motivações econômicas, por exemplo.

A segunda distinção necessária, vinculada à primeira, é aquela entre ética e análise de riscos. De fato, as análises de riscos, conforme concebidas atualmente, não dão conta das questões éticas levantadas pela nanotecnologia porque estas não respondem aos critérios necessários para este tipo de abordagem. Com efeito, para a análise de riscos, os possíveis eventos decorrentes precisam ser identificados e qualificados como negativos ou positivos; é preciso conhecer a probabilidade de acontecimento dos eventos; e, por último, é necessário estabelecer uma escala de valores, seja de satisfação ou de utilidade, para a avaliação moral por parte dos envolvidos. A impossibilidade de análise de riscos, de acordo com estes critérios, não se dá somente por razões epistemológicas, ou seja, devido à incerteza inerente à nanotecnologia. O motivo pelo qual a nanotecnologia não poderia ser acessada eticamente por meio de análise de riscos não é a incerteza epistemológica, mas a indeterminância moral; ou seja, a análise de riscos não é suficiente para avaliar eticamente a nanotecnologia porque é impossível prever quais são os valores futuros que pautarão a escala avaliativa a ser utilizada (Dupuy, 2007).

Além da incerteza epistemológica, portanto, a análise de riscos é impossibilitada também pela imprevisibilidade dos valores morais envolvidos. Não só o comportamento

dos materiais é imprevisível, o comportamento e os valores morais das pessoas também o são, tamanha a novidade imposta pela nanotecnologia (Dupuy, 2007).

A terceira, e talvez mais importante, distinção é aquela entre técnica e tecnologia. Embora esta distinção tenha se perdido pelo uso feito pelo senso comum, que via de regra considera os dois termos como sinônimos, ela é retomada para enfatizar o fato de que a tecnologia é o discurso, o *logos*, *da* e *sobre* a técnica. Este ponto torna-se fundamental para diferenciar uma ética de artefatos técnicos de uma ética da tecnologia.

Com efeito, os aspectos éticos dos artefatos técnicos são presumidamente derivados de seu uso, considerado bom ou não, o que confere uma espécie de neutralidade moral à atividade científica e à própria produção tecnológica. Já a análise ética de uma determinada tecnologia pressupõe a compreensão do sistema formado também por outras técnicas ou modos de saber-fazer, com suas representações simbólicas, visões de mundo, instituições, regras e normas envolvidas (Dupuy, 2007).

Esta última distinção, entre técnica e tecnologia, entre artefato técnico e o *logos* da e sobre a nanotecnologia, guarda semelhanças com o dualismo entre um construtivismo social e um empirismo radical de tipo científico. De fato, este dualismo, quando levado às últimas consequências, desemboca em uma visão da atividade científica e tecnológica que oscila entre dois extremos: o do fato e aquele do fetiche. De um lado, estão os cientistas e engenheiros que defendem as evidências, que alegam que os achados científicos são fatos, pois são verificáveis, comprováveis e explicáveis: reais, portanto. Por outro lado, encontramos uma tradição crítica que confere à realidade científica um *status* de completo condicionamento, no qual um artefato técnico, por mais brilhante, sólido e palpável, não passa de completa construção social (Latour, 2004a).

Assim, a moralidade de determinada tecnologia, do ponto de vista dos cientistas, decorreria diretamente das aplicações de seu uso. Opostamente, a crítica identifica que as implicações morais das tecnologias derivariam inteiramente das condições que condicionam sua construção social (Latour, 2004a).

No entanto, os assim chamados fatos científicos não podem ser entendidos ingenuamente como meros objetos ou descobertas, mas também apresentam maior

resistência a esta tradição crítica da desconstrução, como nos relata Latour:

Não, apesar de ser verdade que tentamos, como bons críticos, treinados em boas escolas, usar as armas que nos foram passadas pelos melhores de nós e pelos nossos anciões para quebrar – uma das suas expressões favoritas, que significa destruir – religião, poder, discurso, hegemonia. Mas, felizmente (sim, felizmente!), um após outro, tomamos consciência de que as caixas-pretas da ciência permaneceram fechadas e que, em vez disso, foram nossas ferramentas que acabaram na poeira de nossos escritórios, em pedaços e quebradas (Latour, 2004a, p.242).

Para evitar, por um lado, um empirismo científico radical que torna os resultantes tecnocientíficos artefatos técnicos que aterrissam completamente descontextualizados na sociedade e, por outro, uma fetichização que reduz qualquer objeto a uma explicação inútil, Latour (2004a) propõe um segundo empirismo. Um empirismo que não abandone a crítica, mas a realoque. Assim, entender a realidade das coisas, ser realista, seria também compreender a situação e o contexto em que as descobertas e avanços científicos se dão. Nesta perspectiva, se reconhece que os fatos científicos, nos quais também acreditamos, são sólidos demais para serem interpretados como meros fetiches, e que contextualizá-los não lhes retira, mas lhes acrescenta, *realidade*.

O que é novo neste segundo empirismo é o objeto da crítica. A abordagem proposta não tem por objetivo desconstruir para revelar que as questões referentes aos fatos (*matters of fact*) conforme concebidos pela ciência, não são a realidade. Em vez de fatos, a crítica encara questões de interesse (*matters of concern*) na totalidade das dimensões que envolvem. Desta forma, a crítica não desconstrói seus objetos, não subtrai realidade dos fatos relatados pelos cientistas. Ao contrário, ao pensar seu processo de construção histórica tal qual ela é percebida pela experiência dos observadores, a crítica agrega outras dimensões da realidade a seu objeto, tornando-o mais, e não menos, real. Eis o segundo empirismo do qual nos fala Latour (2004a).

Para esclarecer a distinção entre o que é fato e o que é uma questão de interesse, o autor nos conduz a uma outra distinção: aquela entre objeto e coisa. Um objeto tem a inércia necessária para ser entendido como imóvel, inócuo, tal como é. Uma coisa é algo diverso, em que seu status está em questão, bem como todo o contexto que corrobora que ela se constitua enquanto coisa. Para entender a oposição, Latour (2004a) retoma a origem etimológica de “coisa” que, ao mesmo tempo em que diz sobre algo que está inquestionavelmente lá, sem que haja qualquer disputa, é

também em sua origem o lugar, a mais antiga instância, para a decisão e arbítrio:

Hoje se sabe que em todas as línguas europeias, inclusive o russo, existe uma forte ligação entre as palavras usadas para designar uma coisa (*thing*) e uma assembleia discricionária. Os islandeses vangloriam-se por ter o mais antigo parlamento, que eles chamam de *Althing*, e é possível visitar em muitos países escandinavos conselhos que são designados pela palavra *Ding* ou *Thing*. Não é extraordinário que o mesmo termo banal que usamos para designar o que está lá, inquestionavelmente, uma coisa, fora de qualquer disputa, seja também a mais antiga palavra usada para designar os mais antigos âmbitos nos quais os nossos ancestrais negociavam e tentavam resolver suas disputas? (Latour, 2004a, p.232-233).

As coisas, assim, desde sua origem, são o que são e são construídas. Ao mesmo tempo dados no mundo e construções nele.

Encarar não os fatos em si, meramente, mas também o contexto nos quais se constituem em questões de interesse é uma forma de realismo e ao mesmo tempo uma nova forma de crítica. Esta perspectiva de um realismo crítico, que pode ser visto como um segundo empirismo consiste, portanto, em uma crítica direcionada aos fatos científicos que, ao invés de afastá-los, negá-los como uma realidade concreta, se concentra nas condições de possibilidade que os fizeram reais. Desta forma, à crítica caberia uma busca pelas várias circunstâncias que constituem, constroem um fato científico (Latour, 2004a).

É justamente enquanto algo ainda em construção que o conhecimento científico se torna mais interessante. Neste processo de construção, torna-se possível observar como uma coisa passa por sucessivos processos de decisão até se tornar um objeto para a ciência; ou seja, como um conhecimento científico torna-se aos poucos, e por uma série de eventos, uma caixa-preta. Ao final deste processo, um determinado conhecimento científico, se torna um dado, algo que não precisa ser colocado à prova toda a vez em que é retomado. O processo de construção do conhecimento científico parte de uma hipótese e termina com uma caixa-preta, um pressuposto que não precisa mais ser reaberto, ser recolocado sempre em questão, torna-se um fato científico (Latour, 2000).

No entanto, ao contrário do que se possa imaginar, o melhor momento para refletir sobre esse conhecimento, compreendê-lo *realmente*, é neste processo de construção e não quando as caixas-pretas já se encontram fechadas. E isso porque é durante o processo de construção que o conhecimento científico se torna mais claro,

menos opaco, e deixa transparecer melhor o diagrama de forças, discursos e interesses que mais tarde culminam em sua constituição enquanto uma caixa-preta, um *objeto*, um dado científico estabelecido (Latour, 2000).

Este é precisamente o atual momento da nanotecnologia. É neste período, em que a nanotecnologia se transforma em objeto científico, que sua análise bioética se torna mais interessante. Isto porque ainda revela as dimensões, já ocultas em outras biotecnologias estabelecidas, pertinentes à construção dos objetos científicos, e como estes se constituem em questões de interesse (*matters of concern*) para a bioética.

É nesta perspectiva que a análise bioética da nanotecnologia se torna tão importante: não pelos artefatos técnicos, mas pela tecnologia; não pelo objeto, mas pela coisa; não pelo fato científico, mas pelo discurso científico. Ela nos serve neste momento duplamente: primeiramente, porque a nanotecnologia se coloca como uma questão de interesse, uma possibilidade de analisar eticamente uma tecnologia e não meros artefatos técnicos; mas também por seu poder ilustrativo que auxilia a compreender outras biotecnologias e a própria bioética em suas formas de análise.

É por não ter sido ainda blindada, por permitir a análise ainda por suas brechas, que se torna possível a observação deste processo de fechamento da caixa-preta da nanotecnologia. São os últimos feixes de luz a entrar nesta caixa entreaberta, como veremos, que permitem assistir à reabertura da caixa-preta do DNA como código da vida e o consequente sinalizar de mudanças para a condição humana.

5.1. NANOTECNOLOGIA: CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

O entendimento, porém, de que a ciência tem uma marcha incessante, um evoluir que resulta necessariamente em caixas-pretas impenetráveis e perenes é um engano.

De fato, as caixas-pretas são imagens que representam simplificações. É justamente neste intuito que Latour toma a metáfora: caixa-preta, conforme ele mesmo nos explica, é a denominação na cibernética para a representação gráfica de um sistema por demais complexo e sobre o qual basta saber o dado de entrada e seu

resultante na saída deste mesmo sistema. A caixa-preta representa algo que se entende como pressuposto, que somente interessa em seu poder de transformar ou processar algo, dado que sua constituição permanece inerte neste processo (Latour, 2000).

Desta forma, entender um conceito científico como uma caixa-preta é pressupor que utilizar este conceito não o colocará em risco ou em questão, pois um conhecimento científico, ao ser comprovado, passa a ser pressuposto para novas descobertas, novos avanços (Latour, 2000).

No entanto, a ciência mesma não é hermética. Para que os avanços caminhem, é preciso sempre uma dúvida, uma hipótese, uma caixa ainda não fechada.

O fechar das caixas, porém, não é um processo puramente racional e harmonioso, como se esperaria da objetividade científica, pois incerteza, trabalho, decisões, concorrência, controvérsias são os antepassados das fechadas e inquestionáveis caixas-pretas do presente (Latour, 2000).

Assim, a ciência em seu trabalho, a ciência em ação, tem sempre duas faces: aquela na qual as caixas já estão fechadas e aquela em que novas caixas estão sendo construídas. Para Latour (2000), em suas duas faces, a ciência pode ser representada como um jano bifronte, pois a imagem desta divindade romana dos começos e finais tem uma face voltada para o passado e uma face virada para o futuro. A menção a esta imagem é usada pelo autor para dizer ao mesmo tempo sobre uma ciência pronta e estabelecida, de face grandiosa e severa que resguarda suas caixas-pretas, e sobre uma ciência em construção de face vivaz e audaz, suada da árdua construção.

A ciência tem, portanto, uma face que sabe e outra que ainda não sabe. Elas falam ao mesmo tempo coisas completamente distintas: a 'face que sabe' diz para acatar os fatos sem discutir, a 'face que não sabe' tem como ofício questioná-los. Enquanto a primeira nos afirma que aquilo que é verdade sempre se sustenta, a segunda nos mostra que as coisas, na medida em que se sustentam, começam a se transformar em verdade (Latour, 2000).

Figura 4. Jano Bifronte



Jano bifronte I sec. d.C. (AP/Jacquelyn Martin)

Fonte: Il fatto storico

Assim, estas duas faces se oferecem como entradas distintas para a análise e compreensão científica. Elas darão explicações distintas sobre o fechamento das caixas-pretas: uma proferida após o ocorrido, outra que fala sobre o fechamento enquanto ainda é uma tentativa, um processo (Latour, 2000).

A entrada para a tão recente nanotecnologia é forçosamente a da audaz, mas ainda jovem, face da ciência.

Essa, que é a única entrada no caso da nanotecnologia, parece ser a mais difícil devido as ainda vivas controvérsias. É esta face pouco familiar com que a bioética se defronta nas situações emergentes (Garrafa, Porto, 2003).

Porém, para Latour (2000), são justamente essas controvérsias que tornam a face em construção o melhor acesso para analisar a ciência. Contraintuitivamente, o caminho mais desejável é sempre aquele que revela a construção:

Vamos dos produtos finais à produção, de objetos estáveis e frios a objetos instáveis e mais quentes. Em vez de transformar em caixa-preta os aspectos técnicos da ciência e depois procurar influências e vieses sociais, percebemos na Introdução[do livro *Ciência em ação*] como era mais simples estar ali antes que a caixa se fechasse e ficasse preta (Latour, 2000, p.39).

As controvérsias se tornam reveladoras porque na medida em que a construção de um conhecimento científico caminha, a comunidade envolvida expõe diferentes perspectivas sobre determinados achados. Durante esse processo de fechamento das caixas, no andamento dos debates e controvérsias, as afirmações dos cientistas são gradativamente compreendidas como fatos ou são negadas enquanto tais (Latour, 2000).

Um enunciado torna-se fato científico na medida em que ele é progressivamente afastado de suas condições de produção, são deixadas de lado as circunstâncias e contextualizações. Devido a sua aceitação por outros cientistas, o fato se torna uma referência imprescindível para toda a produção científica sobre o tema e tornam-se desnecessários maiores esclarecimentos sobre ele (Latour, 2000).

Percebe-se assim, que um fato científico não é fato, mas torna-se fato coletivamente por meio do processo de apropriações do enunciado pela comunidade acadêmica:

Um fato é algo que é retirado do centro das controvérsias e coletivamente estabilizado quando a atividade dos textos ulteriores não consiste apenas em crítica ou deformação, mas também em ratificação (Latour, 2000, p.72).

Esta compreensão da construção coletiva do fato científico é importante para a análise ética. As controvérsias e o processo de sedimentação delas representam um período no qual os enunciados ainda não se constituem enquanto fatos que prescindem de explicações. É neste íterim que os cientistas nos oferecem um rico material para compreender os objetos científicos ainda em construção. Em seus debates, na medida em que encaminham as afirmações dos outros na direção do fato ou da ficção, os cientistas instrumentam nossas análises sobre o conhecimento científico que constroem:

em outras palavras, quando olhamos a controvérsia mais de perto, metade do trabalho de interpretação das razões que estão por trás da crença já está feita! (Latour, 2000, p.47).

É este deslocar de olhos a proposta desta análise. Para compreender o discurso científico a respeito da nanotecnologia é preciso visualizar não apenas a face grandiosa da ciência que sabe, mas perceber também a outra face que (ainda) não sabe. De fato, a análise do discurso científico sobre a nanotecnologia só se apresenta em todo seu

potencial como ferramenta de análise ética quando se compreende que a construção de fatos e dispositivos tecnocientíficos é um processo coletivo que está em andamento na nanotecnologia.

A construção do conhecimento científico é um processo coletivo porque há, na discussão, a necessidade de lançar mão de outros recursos para fechar uma caixa-preta. São utilizados outros experimentos e protocolos para transformar uma opinião em fato. Quanto mais discordância há sobre um ponto, quanto menos estabelecida uma área se apresentar para a comunidade científica, mais recursos devem ser arregimentados para demonstrar sua factualidade. Percebe-se, assim, que quanto maior a discordância em torno de um ponto, mais referências são arroladas e mais científica torna-se a literatura (Latour, 2000).

Essa construção de uma *fortaleza* em torno dos objetos científicos é necessária para tornar mais difícil a tarefa de questioná-los. A estrutura da literatura científica é constituída não somente para demonstrar um fato, mas para mobilizar aliados. Quem quiser discordar de um fato científico relatado em artigo repleto de citações, deverá haver-se com toda a bibliografia instrumentada (Latour, 2000).

Assim, entrar em contato com a literatura científica

não significa deixar a retórica e entrar no reino tranquilo da razão pura. Significa que a retórica se aqueceu tanto ou ainda está tão ativa, que é preciso buscar muito mais reforços para manter a chama dos debates (Latour, 2000, p.55).

É esta perspectiva que sugere que a produção sobre determinado tema científico é um termômetro de suas controvérsias. Uma produção científica crescente sobre determinado tema nos diz que ainda são vivas as controvérsias, que a caixa-preta ainda não foi selada.

5.2. MÉTODO

O estudo parte de uma análise crítica da produção científica sobre nanotecnologia para investigar como a questão da condição humana se coloca no discurso científico sobre a nanotecnologia e qual é a repercussão ética desta inserção.

O levantamento bibliográfico sobre a nanotecnologia envolve um contexto multidisciplinar amplo, contemplando diferentes campos de pesquisa e áreas de aplicação de produtos e dispositivos nanotecnológicos.

Com este intuito, o levantamento foi realizado na versão eletrônica da revista *Science*, o principal periódico de pesquisas científicas originais do mundo (Science, 2011).

Foram analisados artigos científicos publicados no período de janeiro de 2000 a junho de 2012, cujos títulos ou resumos continham a palavra nanotecnologia, já que o método de busca por descritores ou palavras-chave não é adotado pelo sítio eletrônico da revista.

Foram excluídos do estudo: as cartas de leitores e os artigos que não foram obtidos como resultados pela busca no sítio eletrônico das revistas até a última data de levantamento.

Os artigos foram obtidos em formato digital por intermédio do acesso conveniado pelo Portal Eletrônico de Periódicos CAPES.

Inicialmente, foram aferidos: o gênero textual do artigo (texto técnico, notícia ou ensaio); a que área ou disciplina científica pertencia o autor; o ano de publicação; as possíveis aplicações tecnológicas e suas áreas.

A análise dos artigos levantados partiu da concepção da nanotecnologia como objeto híbrido (Latour, 1994), cujas dimensões naturais, sociais e discursivas são constitutivas e indissociáveis. E buscou compreender em que medida esta nova tecnologia se constitui em questão de interesse (Latour, 2004a) para a bioética.

A leitura inicial dos artigos permitiu identificar uma série de termos que não expressavam valores cognitivos ou conteúdo objetivo, mas consistiam em palavras e expressões que denotavam apreciações não objetivamente verificáveis sobre a nanotecnologia e suas aplicações. Estas expressões foram classificadas nas seguintes

categorias segundo seu significado e contexto: cientistas, complexidade, controle, dimensão, diversidade e abrangência, evolução, fascínio, implausibilidade, importância, inovação, natureza, perfeição, performance, potencialidade, realidade, risco, sensação, simplicidade, singularidade.

A análise crítica dos dados aferidos e das categorias buscou identificar quais são as concepções, os fatos científicos e contextos determinantes para a construção do discurso científico sobre nanotecnologia. Foi ainda objeto de análise e discussão a maneira como estes fatores se relacionam com a questão da condição humana e que possíveis implicações éticas surgem desta relação.

6

O QUE HÁ DE NOVO, AFINAL? ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise crítica da produção científica sobre nanotecnologia, proposta neste capítulo, visa investigar como a nanotecnologia, enquanto objeto híbrido (Latour, 1994), em suas dimensões naturais, sociais e discursivas, se constitui em questão de interesse (Latour, 2004a) para a bioética.

No entanto, a bioética ao encarar a nanotecnologia enfrenta o fato de que os conceitos e futuras aplicações relacionadas à nanotecnologia ainda não são consenso. Esta falta de consenso, porém, não é tão desfavorável quanto parece à primeira vista. A análise de um conhecimento científico enquanto seu processo de construção ainda encontra-se em curso tem ao menos uma vantagem: o fato de que o discurso científico demonstra mais claramente suas controvérsias.

A análise dos artigos científicos publicados pela revista *Science*, detalhado a seguir, revela que a maior destas controvérsias é justamente aquela que se apresenta mais ligada à alteração da condição humana anunciada pela nanotecnologia e, portanto, de maior importância bioética.

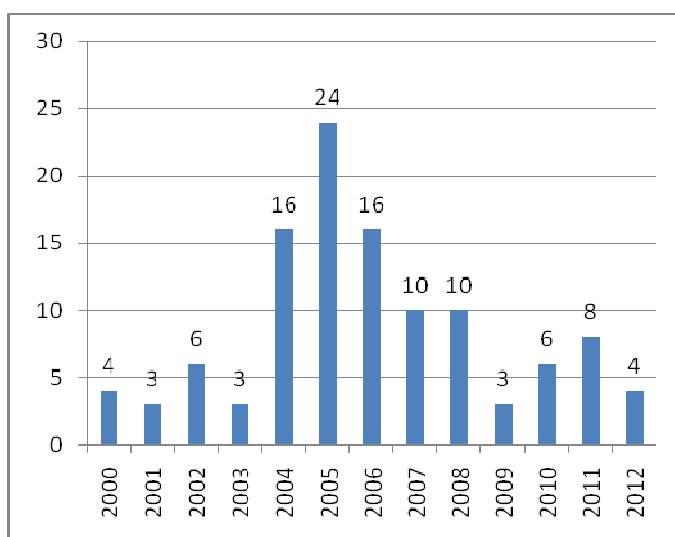
6.1. INDÍCIOS DE UMA CIÊNCIA EM CONSTRUÇÃO

A presente análise das publicações sobre nanotecnologia na revista *Science* corroboram a compreensão de que a nanotecnologia ainda tem controvérsias vivas e ainda se apresenta em processo de construção.

De janeiro de 2000 a junho de 2012, foram publicados 113 artigos sobre

nanotecnologia na revista *Science*. A importância do tema na pauta das publicações apresenta um pico no ano de 2005, quando foram publicados 24 artigos. O número de artigos sobre nanotecnologia depois decai, apresentando uma discreta ascensão em 2011.

Figura 5. Artigos científicos sobre nanotecnologia publicados por ano



No entanto, o padrão de crescimento da produção encontrada nesta tese (ver figura 5) não corresponde ao crescimento quasi-exponencial da literatura mundial (ver figura 3) sobre nanotecnologia (Roco, 2011).

Para compreender esta divergência é preciso avançar um pouco mais nos mecanismos envolvidos no fechamento das caixas-pretas da ciência, conforme descritos por Latour (2004a).

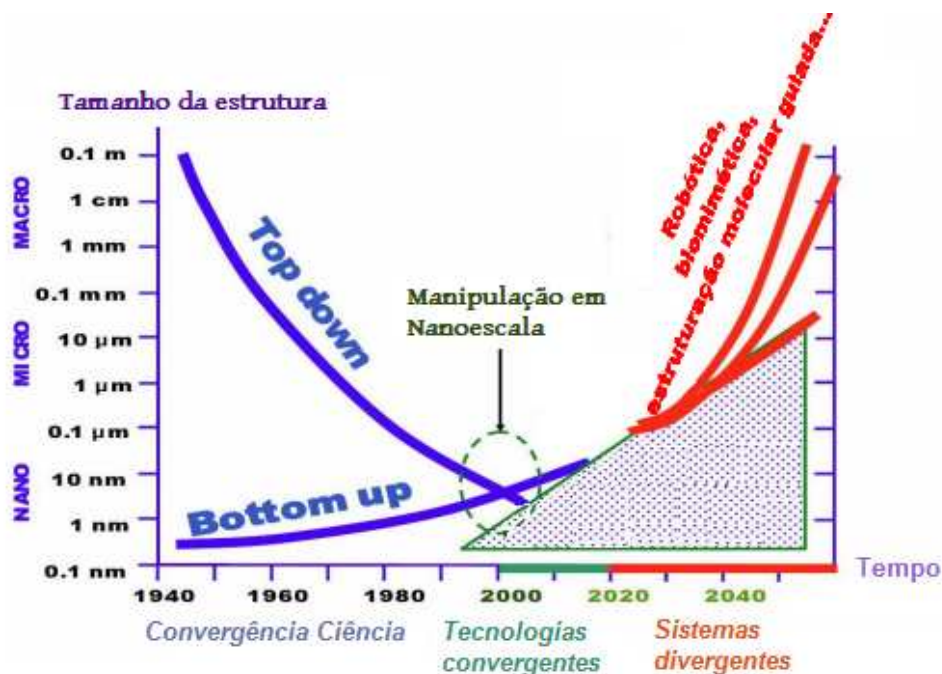
A compreensão do perfil editorial da revista *Science*, importante veículo de divulgação para um público amplo de pesquisadores e cientistas, pode ser uma das possíveis explicações para a queda da expressividade da publicação sobre nanotecnologia. Periódicos de grande prestígio, como a revista *Science* e a *Nature*, para manter o impacto, privilegiam tópicos inovadores e de grande repercussão. Por isso, na medida em que a nanotecnologia deixou de ser a última novidade no panorama científico, ela passou a dar lugar a outras pautas na revista (Lawrence, 2003).

Esta é uma explicação possível, mas não dá conta da complexidade da

construção coletiva da nanotecnologia enquanto área científica.

Outra provável explicação para este decréscimo na publicação pode ser encontrada nos três estágios de desenvolvimento da nanotecnologia, segundo Bhattacharyya et al. (2009). Os autores delineiam o desenvolvimento da nanotecnologia a partir de padrões de convergências marcados por três momentos. O momento inicial, quando a nanotecnologia entra em evidência no contexto científico, é marcado pela convergência de áreas básicas como biologia, física e informática para o delineamento da nanotecnologia como novo campo. Posteriormente, os conhecimentos e práticas nanotecnocientíficos são absorvidos pelos mais diversos campos a partir da convergência de tecnologias. Por fim, surgem novos campos científicos fundamentados na integração entre leis que regem o comportamento da matéria em nanoescala, princípios biológicos e tecnologias da informação. Esta perspectiva de desenvolvimento da nanotecnologia ao longo do tempo é ilustrada na Figura 6.

Figura 6. Desenvolvimento da nanotecnologia



Fonte: Adaptado de Bhattacharyya et al., 2009.

Assim, o mais provável não é a diminuição no ritmo de publicação sobre o tema na revista, mas, sim, a apropriação de técnicas e materiais nanotecnológicos por outras áreas. Devido ao fato da busca eletrônica não poder ser realizada por descritores e somente por palavras no título e resumo, o crescimento da prática científica relacionada à nanotecnologia parece diminuir, quando na verdade o que provavelmente ocorre é sua acentuada incorporação nas rotinas de pesquisas de outras áreas, perdendo, porém, o papel de destaque do título. Este resultado vai ao encontro da previsão de crescimento e apropriação da disciplina em diferentes áreas conforme colocado por Roco (2011).

De alguma forma, os cenários previstos por Bhattacharyya et al. (2009) e Roco (2011) coincidem com a descrição de uma ciência em construção, ou seja, o decréscimo representa uma apropriação por outras áreas afins, as controvérsias diminuem, a aceitação aumenta e aos poucos a nanotecnologia e seu saber-fazer se estabelecem como fatos científicos.

No entanto, o padrão de publicação da revista *Science* sobre o tema não nos revela somente a apropriação da nanotecnologia por outras áreas, mas também - como nos indica Latour (2000) - a medida das controvérsias sobre a nanotecnologia.

O pico de publicação em 2005 reflete um momento de intensa discussão mundial sobre as projeções e estratégias de desenvolvimento da nanotecnologia e suas implicações éticas, fato que repercutiu em posteriores debates institucionais e relatórios oficiais (UNESCO, 2006; CEST, 2006; NRC, 2006). Este panorama das controvérsias é percebido também devido a abordagem mais frequente de preocupações éticas entre os artigos produzidos no período de 2004 a 2007.

Outros achados desta tese corroboram a compreensão da nanotecnologia como uma área de conhecimento em construção. Além da tendência de apropriação de materiais e métodos derivados da nanotecnologia por parte de outros ramos, a área de formação dos autores dos artigos também reflete este processo. Desta forma, embora a nanotecnologia comece a tomar um papel importante no cotidiano das práticas científicas, conforme anteriormente mencionado, ao intitular ou resumir seu artigo, os pesquisadores dão preferência a termos mais específicos, como nanotubos (Sfeir et al., 2004), nanopartículas (Stanley et al., 2012), nanoestruturas (Arslan et al., 2005),

nanofios (Reches, Gazid, 2003), etc.

Os jornalistas científicos, no entanto, que visam relatar temas mais abrangentes do contexto científico global ou apresentar e comentar artigos da própria revista, utilizam com maior frequência o termo nanotecnologia como uma estratégia para atingir o público acadêmico muito diversificado da revista. Por este motivo, a busca, conforme realizada, resultou em artigos que em sua maior parte têm a autoria de jornalistas científicos.

Desta maneira, além da escolha do meio utilizado e de arregimentar a bibliografia correta para evitar as objeções e fortalecer os próprios enunciados, outra forma de fortalecer um fato científico é uma criteriosa seleção do título e dos termos técnicos utilizados com o intuito de determinar o leitor-alvo. Assim, os cientistas não somente determinam como os seus artigos devem ser lidos, mas também por quem (Latour, 2000).

Ao escolher termos técnicos específicos como nanotubos de carbono (Foroughi et al., 2011), nanopartículas inorgânicas (Liu et al., 2010), origami de DNA (Han et al., 2011), os pesquisadores continuam falando sobre nanotecnologia, mas falam a um público mais restrito, com objeções mais controláveis do que o público amplo. A fala se torna mais técnica à medida que deseja atingir apenas os pares.

Os jornalistas, no entanto, ao utilizar termos mais genéricos aumentam o número de leitores, mas diminuem a quantidade de recursos que alimentam a intensidade das controvérsias.

Esta opacidade é proposital, pois permite aos jornalistas a função de divulgação dos aspectos positivos, mas diminui a possibilidade e a eficácia de críticas leigas. O artigo científico, “o mais importante e menos estudado dos veículos retóricos” (Latour, 2000, p.55), é cercado por uma fortaleza de referências e por uma linguagem hermética que o defendem de objeções. Quanto melhor esta barreira, mais fechada se torna a caixa-preta, ou seja, o conhecimento ou artefato se encaminha na direção de tornar-se fato científico. Quanto mais se lança mão de referências e termos técnicos, mais se tenta reforçar a ‘face que sabe’ e menos se revela ao público leigo a ‘face que ainda não sabe’ da ciência (Latour, 2000).

Os artigos apresentaram gêneros textuais e abordagens diversas. Quanto ao

gênero textual, eles foram classificados em artigos técnicos, que versavam sobre aspectos científicos da nanotecnologia e, em geral, possuíam redação técnica; notícias, que reportavam eventos ou acontecimentos pertinentes à nanotecnologia e apresentavam redação descritiva; e ensaios, que versavam sobre o panorama mais amplo da nanotecnologia no cenário de política científica global e tinham um caráter argumentativo.

Assim, mesmo utilizando uma abordagem mais genérica e sendo produzidos pela equipe de escritores e editores (ver figura 7), os artigos continuam sendo majoritariamente de conteúdo técnico (ver figura 8). No entanto, nos anos de 2005 e 2006, houve uma predominância de notícias em detrimento de artigos propriamente técnicos ou ensaios. O aumento do número de notícias tem, inclusive, um caráter determinante no pico de publicação geral no ano de 2005 (ver figura 9).

Figura 7. Número de artigos por área do autor

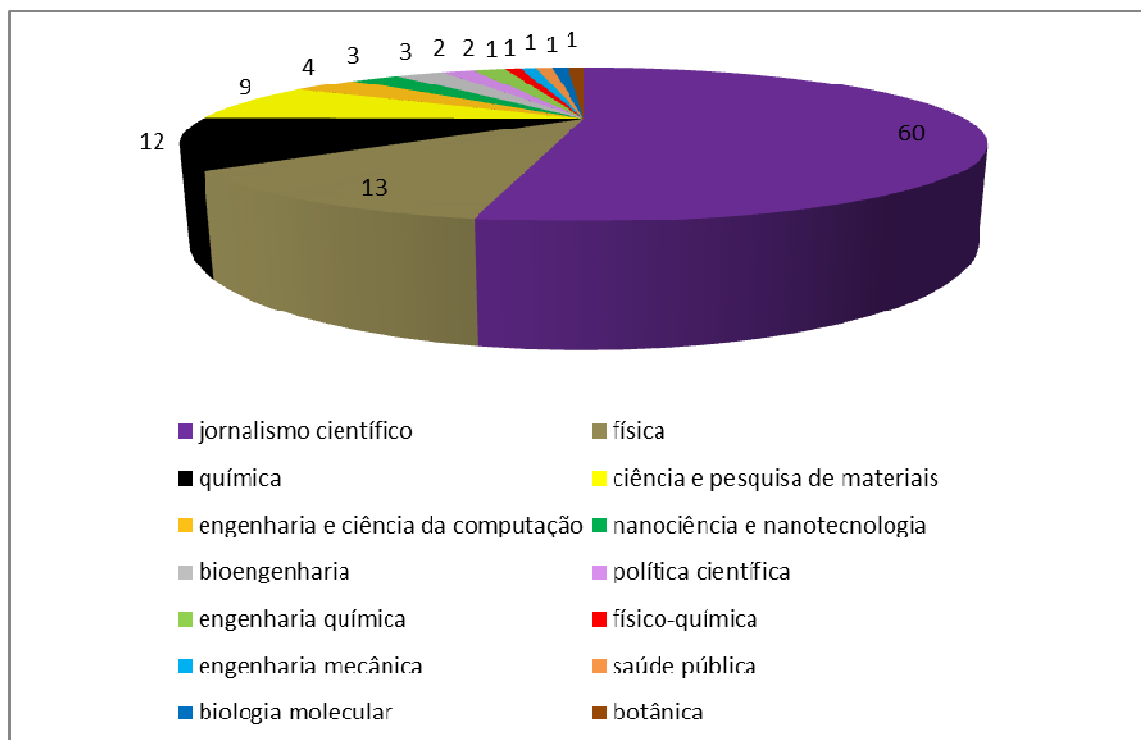


Figura 8. Classificação do gênero textual dos artigos

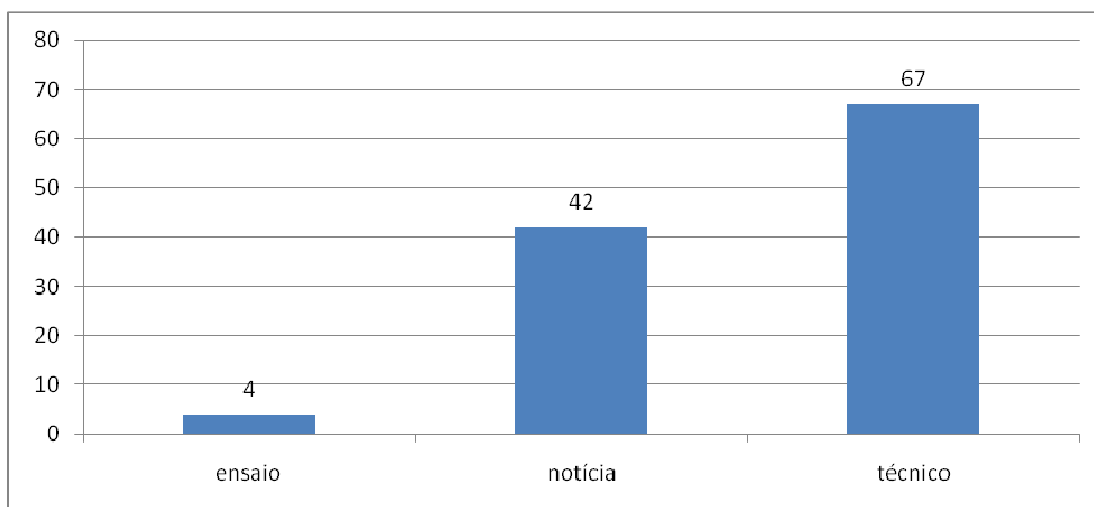
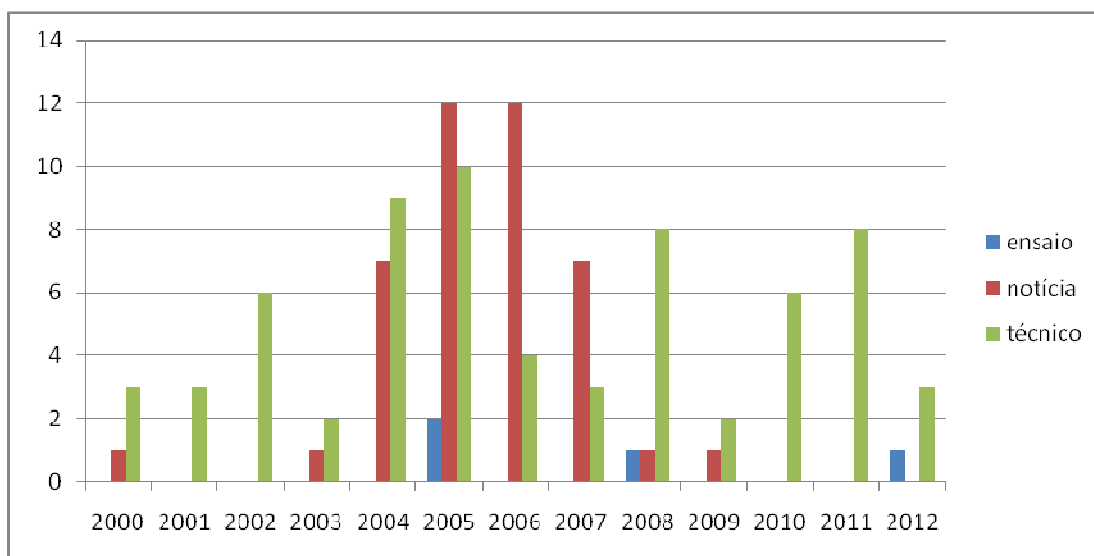


Figura 9. Classificação do gênero textual dos artigos por ano



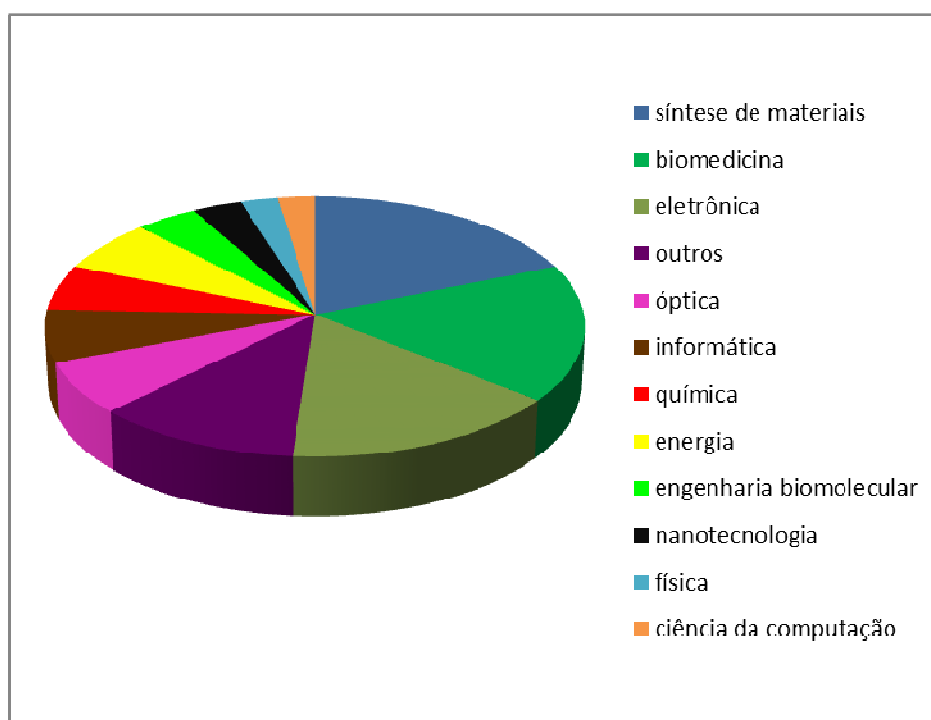
Um primeiro olhar sobre uma área com uma produção científica intensa nos diz sobre sua importância no presente panorama científico geral. Esta leitura, no entanto, não explicita que a intensidade de produção científica é também medida da controvérsia na área, e constitui um indício de que o campo ainda está em processo de construção, pleno de incertezas e controvérsias (Latour, 2000).

É por ser um campo tecnocientífico ainda em construção, que a nanotecnologia

precisa demonstrar a que veio. Por isso, os artigos não se limitam a descrever os resultados atingidos pelas pesquisas. Esta perspectiva torna compreensível a inclinação tecnocientífica da nanotecnologia, ou seja, sua tendência a apresentar-se não somente como uma reflexão teórica, mas como um saber-fazer (Schramm, 2010b) voltado para a síntese e utilização de produtos nanoestruturados.

Resultado desta vocação tecnocientífica é o fato de que 63% dos artigos apontam possíveis aplicações para a nanotecnologia (ver figura 10). Alguns dos artigos o fazem de forma bastante genérica, afirmando que a nanotecnologia implicaria em mudanças em campos tão diversos quanto a medicina e a indústria bélica (Bohannon, 2005), enquanto outros descreveram produtos e aplicações mais especificamente relacionados a relatos de experimentação científica, como novos tipos de semicondutores (Cho, 2006), ou filmes para células fotovoltaicas (Lewis, 2007).

Figura 10. Áreas de aplicação nanotecnológica



As possíveis aplicações mencionadas pelos autores normalmente seguiram o que Pottage (2007) chama de ciência ficcional. Este conceito remete ao caráter especulativo desta tentativa de delinear aplicações para as descobertas e resultados

científicos. Assim sendo, a ciência ficcional é caracterizada por saltos teóricos e práticos significativos entre aquilo que se relata como resultado científico das pesquisas e as aplicações anunciadas.

É por este motivo que os artigos apontam possíveis aplicações, por mais ficcionais que ainda sejam (Pottage, 2007). É preciso demonstrar uma utilidade do conhecimento, apontar um futuro.

A maior parte dos artigos, independentemente da área da pesquisa, vislumbrava aplicações relacionadas à síntese de novos materiais. Algumas descrições eram mais precisas e relatavam estudos sobre nanotubos de carbono (Baughman, 2000; Service, 2000; Dresselhaus, 2001; Gogotsi, Simon, 2011), nanotubos de DNA (Yin et al., 2008), nanopartículas metálicas (Buriak, 2004; Service, 2005b; Schliehe et al., 2010), nanocápsulas cristalinas (Buriak, 2004), por exemplo; outras abordavam um panorama mais amplo sobre a possibilidade de produzir novos materiais a partir da manipulação nos níveis atômico e molecular (Besenbacher, Norskov, 2000; Service, 2002; Parak, 2011, Lai et al., 2012).

Destacaram-se, ainda, as aplicações biomédicas, voltadas para diagnóstico por imagens, liberação controlada de medicamentos (Suresh, 2001; Dzenis, 2004; Marshall, 2005; Walt, 2005, Lavine, 2005a, Van den Heuvel, Dekker; 2007, Aldaye et al., 2008; Ray, 2010; Brongersma, Shalaev, 2010; Service, 2011; Thodey, Smolke, 2011; Stanley et al., 2012). No entanto, a tônica foi o uso da nanotecnologia na terapia do câncer (Kaiser, 2004; Service, 2004a; Service, 2005c; Walt, 2005; Lavine, 2005b; Holden, 2009; Brongersma, Shalaev, 2010; Service, 2011). Tanto a nanotecnologia, quanto o câncer, neste caso, foram tomados em suas acepções mais genéricas. Este tipo de abordagem remete ao caráter simbólico da nanotecnologia, como a tecnologia que resolverá todos os problemas antes insolúveis e o câncer como esta doença metáfora (Sontag, 1984) que representa a morte e o incontrolável a serem combatidos pela ciência.

Foram ainda bastante mencionadas as áreas de eletrônica e informática, principalmente com a produção de semicondutores e avanços na capacidade de armazenamento dos dispositivos (Dresselhaus, 2001; Niemeyer, 2002; Service, 2003; Watson, 2004; Korgel, 2005; Szuromi, 2006; Burton, 2007; Aldaye et al., 2008; Schliehe

et al., 2010; Jacob, Shalaev, 2011; Batson, 2012).

A óptica também foi apontada como uma possível área de aplicação devido aos avanços relativos à produção de metamateriais, materiais de síntese artificial que se destacam por apresentar propriedades antes impossíveis como a invisibilidade, por exemplo (Shalaev, 2008; Soukoulis, Wegener, 2010; Travesset, 2011). A química também teve destaque devido aos avanços no campo da catálise (Dzenis, 2004; Aldaye et al., 2008; Brongersma, Shalaev., 2010; Travesset, 2011).

O caráter especulativo foi mais evidente nas aplicações eletrônicas e biomédicas, ainda que o expressem de forma diversa. Em ambas as áreas, os autores demonstraram grande excitação com os avanços. No entanto, nos artigos da área biomédica, a dimensão especulativa parece mais intensa, pois as aplicações são descritas de forma mais genérica e de menor proximidade empírica com os resultados e dados apresentados pelas pesquisas:

A ciência dos materiais extremamente pequenos tem o potencial de revolucionar o diagnóstico laboratorial e por imagem e o tratamento do câncer e pode finalmente inaugurar a tão aguardada era de medicina personalizada. Diferentemente de anteriores revoluções que criaram esperanças na batalha contra o câncer, a nanotecnologia não é apenas mais uma ferramenta, mas um campo inteiro que perpassará tudo na medicina. (...) Existem milhares de tipos de partículas e muitos tipos de carreadores. O que vemos é só a ponta do iceberg (Service, 2005c, p.1134).

Já na área de eletrônica, os artigos tratam principalmente de esforços para superar ou evitar efeitos físicos indesejados decorrentes da manipulação nanoescalar dos dispositivos. Nesta área, os pesquisadores costumam especular a respeito de quais campos seriam impactados pelos resultados específicos de seus estudos. Ainda que sejam costumeiros os anúncios do caráter fantástico das inovações que estão por vir, há sempre uma espécie de volta à realidade, quando se afirma que ainda é preciso avançar em muitos outros aspectos para que suas projeções se concretizem:

É um consenso que encontrar algumas aplicações-chave seria fundamental para transformar visões em realidade. (...) Os pesquisadores não podem ainda dizer quais aplicações seriam essas – talvez algo tão simples como pequenas bobinas para a eletrônica – mas a maioria deles está confiante de que as aplicações aparecerão. A história desta tecnologia [nanotecnologia], segundo os cientistas, apenas começa a se desenrolar (Cho, 2006, p.165).

Assim, apesar de indicar rupturas e promissores indícios de aplicações revolucionárias, é comum um recuo:

Apesar dos significativos progressos recentes no processo de modificação e controle [na produção de nanotubos de carbono], permanecem ainda sérios desafios (Dzenis, 2004, p.1918).

Este tipo de especulação faz parte da atividade científica bem como esta espécie de modéstia que aponta as dificuldades ainda a superar. Este movimento de vislumbre com um recuo modesto também é um indício importante de que a nanotecnologia ainda é um saber-fazer em construção, que ainda tenta estabelecer-se enquanto campo tecnocientífico. Diante da incerteza, é preciso ser audaz e modesto. Este é o ofício da face jovem da ciência (Latour, 2000).

Estes aspectos da nanotecnologia em construção oferecem ferramentas novas para instrumentar a análise ética. Relatam como são construídas as questões de interesse para a bioética. Assim, a leitura dos artigos científicos como veículos retóricos revela uma nova face da ciência e os mecanismos dos quais lança mão para se estabelecer.

Um destes mecanismos é a cuidadosa escolha dos termos. Tanto é assim que a pesquisa do termo mais genérico “nanotecnologia” resulta em artigos de maior alcance, mas com menos informações específicas, pois o termo nanotecnologia permite a visão de um panorama mais amplo, mas dificulta, ao menos à primeira vista, a identificação mais precisa das possíveis implicações éticas das aplicações nanotecnológicas.

Este é um obstáculo comum enfrentado nas análises éticas, pois o discurso sobre as questões de interesse da bioética é comumente desautorizado e questionado em sua precisão pelos cientistas. De fato, é preciso muito esforço para que uma análise ética de uma nova tecnologia não seja criticada por uma imprecisão ou simplificação em relação aos *atos científicos*. Esta crítica, porém, é de alguma forma premeditada. É a própria literatura científica em sua estrutura que cria esta segregação. Segundo Latour (2000), a literatura científica não se distingue das demais por ser mais racional ou técnica, mas porque sua retórica constrói um maior número de reforços em torno de si, de forma a determinar mais eficientemente seu público alvo e minar as possibilidades de críticas.

É aqui que a leitura e a análise do discurso científico diretamente de suas fontes revelam sua importância: não porque dos fatos científicos, tal como relatados, emergirão seus aspectos morais, mas porque trazem à tona a escolha dos termos, o

mecanismo de construção dos fatos científicos, as associações realizadas para que eles sejam estabelecidos. A análise do discurso, portanto, revela aquilo que a face severa da ciência tem por intenção tornar opaco ao público leigo: as controvérsias (Latour, 2000).

6.2. A ESCOLHA DOS TERMOS E AS CONTROVÉRSIAS NO DISCURSO CIENTÍFICO

Até este ponto, foi argumentado como as controvérsias animam a produção científica e como uma intensa produção é um indício de controvérsias e debates ainda vivos sobre o tema. No entanto, mais do que por uma produção crescente, as controvérsias se tornam evidentes por meio dos termos utilizados nos artigos. A escolha dos termos reflete uma escolha do público alvo, conforme visto, mas também a necessidade de convencer mais do que simplesmente divulgar.

A leitura dos artigos permite visualizar que mais do que divulgar resultados, o discurso científico menciona aplicações que são *imaginadas* (Cho, 2006; Van den Heuvel, Dekker; 2007; Shalaev, 2008; Brongersma, Shalaev, 2010; Liu, Yan, 2009; Service, 2011), *desejadas* (Shalaev, 2008; Service, 2011), *esperadas* (Service, 2005a; Bhattacharjee, 2006; Cho, 2006; Service, 2008). A antecipação, portanto, das potenciais implicações é mais do que um exercício de previsão, mas uma forma de convencer e seduzir o leitor (Sadin, 2011) a partir do futuro *promissor* (Dresselhaus, 2001; Hopkins et al., 2005; Service, 2006; Aldaye et al., 2008; Tang et al., 2008; Shalaev, 2008; Brongersma, Shalaev, 2010; Schliehe et al., 2010; Thodey, Smolke, 2011; Jacob, Shalaev, 2011; Hamburg, 2012) da nanotecnologia.

A antecipação e a previsão não se limitam às aplicações potenciais, mas são os próprios motores da ciência e da nanotecnologia atualmente. A antecipação visa diagnosticar previamente, para ser capaz de mudar este mesmo diagnóstico. Desta forma, a ciência instaura uma necessidade perene de prevenção e ao mesmo tempo de controle (Sadin, 2011). A nanotecnologia representa o auge deste intuito. O controle das estruturas químicas possibilitariam o aumento da *performance* dos dispositivos e

produtos de quase todas as áreas da indústria tecnológica (Kuhlbusch et al., 2011). A antecipação da nanotecnologia seria, portanto, dupla: são previstas as aplicações que diagnosticarão o futuro - para transformá-lo - de quase todas as atividades humanas.

No entanto, este quadro delineado pelo discurso científico demanda um esforço para que a análise ética não parta de uma compreensão parcial ou de uma aceitação ingênua de seus enunciados (Sadin, 2011).

A antecipação da potencialidade da nanotecnologia não é descrita somente para revelar o quanto ela é *promissora* e *revolucionária* (Aldaye et al., 2008). Os mesmos relatos descrevem a *felicidade* dos pesquisadores (Proffitt, 2004), sua *empolgação* (Cho, 2006; Aldaye et al., 2008, Shalaev, 2008; Brongersma, Shalaev, 2010; Boltasseva, Atwater, 2011; Hamburg, 2012) e seu *fascínio* (Dzenis, 2004; Shalaev, 2008; Parak, 2011) pela *performance* (Osborne, Clery, 2004; Ruiz et al., 2008; Brongersma, Shalaev, 2010), pela *beleza* (Murphy, 2002; Cho, 2006; Schliehe et al., 2010; Service, 2011) e *perfeição* (Forró, 2000; Siegel, 2004; Ruiz et al., 2008; Lai et al., 2012) de seus resultados.

A descrição da nanotecnologia desta forma entusiasta não é sem propósito e reforça a capacidade que a ciência tem de revelar ou ocultar algum aspecto de sua atividade para o público em geral (Latour, 2000).

No entanto, a ciência é tão eficiente historicamente em esconder sua 'face que ainda não sabe' (Latour, 2000) que há um estranhamento ao encarar o léxico utilizado nos artigos científicos sobre a nanotecnologia. Diante da quantidade de adjetivos e expressões valorativas que denotavam apreciações não cientificamente verificáveis, os artigos científicos sobre nanotecnologia publicados pela revista *Science* parecem surpreendentemente menos objetivos, menos científicos do que se esperaria.

Se o uso deste tipo de expressões valorativas parece incompatível com a objetividade científica é somente porque frequentemente não nos damos conta das duas faces da ciência, ou seja, os adjetivos parecem estranhos porque não são característicos da face severa e sedimentada da ciência, mas são fundamentais na sua face em construção. São fundamentais porque os fatos científicos são uma construção coletiva que se dá por captação de aliados (Latour, 2000).

Expressões valorativas são fundamentais porque demonstram os polos da

discussão e a forma com que os elementos das controvérsias são arranjados para a arregimentação de aliados e o convencimento da comunidade científica (Latour, 2000).

Desta forma, valorações e apreciações não objetivas são medidas importantes das controvérsias. Representam, talvez, seu indício mais significativo. Demonstram mais evidentemente a literatura científica em sua atividade retórica, em seus mecanismos de arregimentação e sedução (Latour, 2000).

Desta forma, a leitura dos artigos e das expressões valorativas (ver quadro 1) a respeito da nanotecnologia na revista *Science* nos conduz a uma compreensão da nanotecnologia como sendo uma tecnologia nova, de caráter único e revolucionário, baseada no controle preciso dos dispositivos sobre os quais intervém e nas novas e diversas propriedades derivadas desta manipulação. Sendo de alta *performance* e caráter estratégico, a nanotecnologia produz estruturas complexas, referidas como belas e perfeitas, e que têm como parâmetros as disposições naturalmente complexas encontradas no ambiente. Por isso, a possibilidade de a nanotecnologia alterar a vida cotidiana e ser usada nas mais diversas áreas causa excitação e fascínio na comunidade científica. Apesar das questões científicas de longo prazo a serem resolvidas, visões futurísticas ou alarmistas são descritas como cenários implausíveis. A nanotecnologia representa um avanço importante em relação às anteriores tecnologias e pode resultar em técnicas mais simples e mais potentes.

Quadro 1. Categorização dos valores não-cognitivos sobre a nanotecnologia e expressões ilustrativas

| | |
|--------------|---|
| Cientistas | Contentes, Moisés, pai |
| Complexidade | Complexa, complexidade, complexidade crescente, complexo, detalhamento sem precedente, impressionantemente complexos, interações complexas, nível de complexidade tocante |
| Controle | À vontade, altamente organizado, combinar precisamente, controlado, controlado precisamente, controláveis, controle, controle preciso da estrutura da matéria, controle sobre conformação e função, design racional, estruturas a la carte, intencionalmente estruturado, lugar |

| | |
|---------------------------|--|
| | correto, modelar, modelados, objetos construídos precisamente, ordenado, organização, perímetros programáveis, posição precisamente conhecida, posicionamento preciso, posicionar precisamente, precisamente geométricos, precisão, precisão sem precedentes, preciso |
| Dimensão | Menor, minúscula, pequeno, ultrapequeno |
| Diversidade e abrangência | Ampla gama, caixa de ferramentas, de muitas aplicações, disponível, diversas, diversas aplicações, diversidade notável, estoque impressionante, flexível, infinidade, mundial, perpassar tudo na medicina, propriedades notavelmente, propriedades químicas drasticamente diferentes, tecnologia flexível, toca cada aspecto humano do mundo em torno de nós, vastas aplicações, versátil |
| Evolução | Avanço, começa a deixar a infância, conquista, desenvolvimento, emergente, explodindo, fronteira em expansão, fronteiras, limites, mudança dramática, nova geração, progresso, rápida expansão, sucesso, superar, tecnologia emergente, urgente |
| Fascínio | Atrativo, empolgante, empolgados, espantoso, excitação, extraordinária, fascinante, fascinantes, impressionado, impressionante, incrível, interessante, interesse crescente, intrigantes, maravilhas, maravilhoso, propriedades maravilhosas, propriedades notáveis, notável, propriedades valiosas, vantagem, vantajoso, poderoso |
| Implausibilidade | Aficionados, altamente improváveis, artigos alarmistas, cenários improváveis, futurístico, grey goo, implausível, improvável, irreal, megahype, tecnofílico, visionários |
| Importância | Área prioritária, chave, enorme valor, especializado, essencial, grandes retornos, importância crescente, importante, informação essencial, investimento estratégico, muito importante, prioridade, quente, tópico mais importante |
| Inovação | Aprendemos recentemente, começo, descoberto recentemente, estágio inicial, inovação, inovador, inovativo, moda, mudança paradigmática, muito cedo, |

| | |
|----------------|--|
| | mutante, nova tecnologia, novas abordagens, novas formas de aplicação, novas oportunidades, novas possibilidades, novas propriedades, novas propriedades e funções, novo, novo desafio, novo mundo, novos materiais, oportunidade, próxima grande novidade, recente, revolução, revolucionar, revolucionária, revolucionou, revoluções científicas abortivas, ruptura |
| Natureza | Aprende da natureza, casar nanotecnologia e biologia, descobrir segredos do mundo natural, imitar, imitar biocomponentes, mimetizar segredos do mundo natural, não se compara a natureza, não encontrado na natureza, não-farmacológico, não-invasivo, natureza incomparável, simular, sintético |
| Perfeição | Atomicamente perfeito, forma perfeita, levados a perfeição, livre de defeitos, material ideal, perfeição |
| Performance | Alta performance, alta tecnologia, alta resolução, confiável, eficiente, espontâneo, excelência, excelente, excelentes propriedades, exigente, exponencialmente mais rápida, extraordinária qualidade, extremamente leve, incrementar, indestrutível, invisível, mais barata, mais eficiente, mais fácil, mais forte, mais rápida, mais sensíveis, melhor performance, melhorada, melhorar, muito bons, otimizar, rápida, rigidez, riqueza, robusta, tecnologia de ponta, tecnologia inteligente, ultrarrápida, uniformidade |
| Potencialidade | Aguardar ansiosamente, além do imaginável, ambicioso, antecipar, avanços futuros, confiante, cuidado otimista, desafiadora, desafio, desejado, desejar, encorajador, espera, esperado, esperam, esperança, futuras aplicações, futuro, grande potencial, imagem, imaginação, imaginar, mais promissor, moldar o futuro, ousado, potencial, predizer, prever, promessa, promessa para o futuro, promete, promissor, sonhado, sonho, transformadora, transformará radicalmente produtos e serviços, tremendas promessas, tremendo potencial, visão |
| Realidade | Aplicações na vida real, aproveitado |

| | |
|---------------|--|
| | anteriormente sem saber o porquê, cotidiana, falta de utilidade, fronteira entre ciência e ação, inútil, mais perto da vida prática, possível realidade, útil |
| Risco | Ameaça, arrepiante, arriscado, desconhecido, descontrolado, desordem, falta de efetividade em garantir a segurança da nanotecnologia, fora de controle, imprevisível, incerteza, inesperado, lado escuro, levanta questões científicas de longo prazo, mais tóxicos, medo, perguntas abertas, precisa ser refinado, perigo, perigoso, potenciais problemas, preocupação, preocupados, riscos, riscos, sem novos riscos |
| Sensação | Belo, belos resultados, bonito, cada vez mais sofisticada, elegância, elegante, escultura moderna, graça, harmonizar, mais sofisticada, ornada, requintado, sofisticada |
| Simplicidade | Mais simples, regras simples, simples, simples de calcular e prever, simplificada, tecnologia relativamente simples |
| Singularidade | Exótica, propriedades únicas, sem análogo, sem precedentes, singular, única, vantagens únicas |

No entanto, a análise crítica das categorias revela que a nanotecnologia é descrita de maneiras contraditórias, conforme já notado por Sparrow (2007). São estas contradições que evidenciam os pontos de controvérsia quanto à nanotecnologia. Estas controvérsias tornam-se evidentes nas oposições a seguir.

6.2.1. Simplicidade X complexidade

A nanotecnologia é ao mesmo tempo apresentada como uma tecnologia simples e complexa. Sobre essa aparente oposição, Guchet e Bensaude-Vincent (2008), a partir da análise das nanomáquinas, afirmam que a nanotecnologia é apresentada de forma contraditória, pois ela é descrita como uma tecnologia realizada a partir da manipulação controlada das estruturas e ao mesmo tempo é baseada nas propriedades imprevistas

encontradas. Segundo eles, essas duas características conjugadas não cabem na descrição de máquinas complexas. A principal característica destas máquinas seria um caráter autônomo, já que seu comportamento não é totalmente controlado por aquele que a desenvolveu. Eles concluem que as nanomáquinas precisam de uma descrição nova, pois têm características únicas.

No entanto, o que se percebe no discurso científico é que os adjetivos “simples” e “complexo” são operados de forma a não descrever somente a estrutura molecular dos compostos, mas também para provocar fascínio. Este fascínio por vezes apela à simplicidade da nanotecnologia e seus produtos:

[Os nanotubos de carbono] são suficientemente simples para permitir cálculos detalhados e previsões de seu comportamento, e promissores para a nanotecnologia devido a suas propriedades únicas, como seu pequeno diâmetro (de 1 a 2 nm), longo comprimento (muitos nanômetros), grande resistência mecânica, grande estabilidade térmica e química e excelente condução térmica (Dresselhaus, 2001, p.650).

Em outros momentos, é a complexidade da estrutura que é apontada como extraordinária:

Este método pode gerar padrões fractais impressionantemente complexos a partir de poucas tiras de DNA (Aldaye et al., 2008, p.1795).

Da forma como os argumentos são arranjados, a contraposição entre simplicidade e complexidade remete a outra controvérsia, aquela entre controle e risco. Isto porque a habilidade, característica da nanotecnologia, de controlar e prever precisamente a conformação dos materiais leva a encarar a nova tecnologia como algo simples de se monitorar. No entanto, justamente por seu comportamento complexo, esta previsão torna-se difícil e os riscos imprevisíveis (Service, 2004b).

6.2.2. Controle X Risco

O discurso sobre o controle átomo a átomo aborda a capacidade tecnocientífica de atuar com precisão sobre a matéria, trazendo em seu bojo percepções de poder sobre a técnica e segurança do procedimento realizado:

Macfarlane *et al.* demonstram que o uso de fitas simples de DNA como guias serve de estratégia geral para programar a auto-organização de quase todo tipo de nanopartícula em uma variedade de estruturas periódicas diferentes e com extremo controle de propriedades (Travesset, 2011, p.183).

No entanto, este controle se dá com a finalidade de aquisição de novas propriedades que, ao mesmo tempo em que permitem novos e mais eficientes níveis de intervenção sobre o mundo, trazem ameaças desconhecidas:

Os receios têm origem na mesma questão: as propriedades que fazem as nanopartículas tão promissoras – o comportamento diverso quando comparado à formas brutas do mesmo material – também tornam incrivelmente difícil prever os seus potenciais efeitos sobre a saúde e o ambiente (Service, 2004b, p.1732).

A contraposição entre os argumentos sobre o controle e aqueles sobre a incerteza e o desconhecimento são uma demonstração de como a ciência elege aquilo que revela e aquilo que oculta para captar interesse e anuência da população em geral.

6.2.3. Inovação X Evolução

Outra contradição que revela o caráter seletivo do discurso científico é percebida quando a literatura ora aproxima a nanotecnologia de outras tecnologias, ora a toma como inovadora. Essa contraposição entre inovação e evolução é um indicador importante do processo de construção do conhecimento científico e nem sempre consiste exatamente em uma controvérsia, mas funciona como um mecanismo de sedução.

Com efeito, a nanotecnologia, por vezes, é descrita como uma revolução que, por meio de aplicações baseadas em novas e únicas propriedades dos materiais, transformaria todo o cenário da produção tecnológica de diferentes ramos, como nos exemplos abaixo:

Esses metamateriais abriram as portas para inúmeras aplicações antes consideradas impossíveis. Não somos mais restritos às respostas eletromagnéticas dos materiais naturais e seus compostos (Shalaev, 2008, p.384).

O alinhamento pode revolucionar as presentes aplicações das nanofibras e ajudar a criar outros usos completamente novos (Dzenis, 2004, p.1817-1818).

No entanto, em outros momentos, a nanotecnologia aparece como um novo conjunto de ferramentas para melhorar outras técnicas existentes:

Nós visualizamos que o papel da estruturação química dirigida seja mais aquele de melhorar, aumentar e trazer avanços para a performance dos processos litográficos do que tentar criar uma tecnologia que os substitua (Ruiz et al., 2008, p.939).

Esta oposição de percepções é operada como um jogo de sedução. Ao mesmo tempo em que se apela à avidez pela inovação, motor tanto do mercado científico quanto do mercado de consumo, o discurso lança mão da garantia e legitimidade de outras tecnologias já testadas e comprovadas cientificamente (Ferrari, 2010). Este é um dos poucos momentos em que a ciência revela suas duas faces e o faz propositadamente, revelando ora o extraordinário, ora o banal e conhecido: a face audaz e jovem nos acena com o potencial revolucionário da nanotecnologia, suas propriedades únicas e seus potenciais inéditos; mas, por outro lado, a face que sabe nos assegurar que a nanotecnologia não ofereceria nenhum risco novo e não levantaria novas necessidades de análise de toxicidade, porque representa a evolução e a continuidade de outros produtos tecnocientíficos estabelecidos.

6.2.4. Inovação X Natureza

Outra controvérsia operada de forma similar é aquela entre inovação e natureza. Ao mesmo tempo em que a representação da nanotecnologia apela à sensação, ao recorrer ao clássico padrão de perfeição e beleza natural para descrever as estruturas criadas pela nanotecnologia, esta se apresenta como uma tecnologia que produz materiais novos. Neste contexto, a natureza serviria como referência para a tecnologia:

Quando uma criança vê um pássaro passar voando ou as esvoaçantes asas de uma borboleta, isso inspira pensamentos sobre como construir aviões? Ou simplesmente transmite a ideia de que voar é possível? Nós estamos imersos no mundo natural, então não é surpreendente que isto inspire o design das estruturas fabricadas ou que desejemos pesquisar mais este mundo para aprender seus segredos (Lavine et al., 2005, p.1131).

Se por um lado, a natureza serve de parâmetro e exemplo para o

desenvolvimento da tecnologia, por outro lado, nas metáforas explicativas a natureza é artificializada:

Grande parte da pesquisa biológica nas últimas décadas permite realizar que a célula viva pode ser vista como uma fábrica em miniatura (Van den Heuvel, Dekker, 2007, p.333).

Este quadro guarda semelhança com as oposições previamente tratadas e nos diz também sobre um apelo à novidade, da tecnologia, e um suporte de segurança oferecida pelos produtos “naturais”.

Assim, por um lado é enfatizado o poder do engenho humano:

Os recentes avanços nos métodos de micro e nanofabricação apresentam oportunidades de controlar a luz de maneiras que antes não eram possíveis com os materiais a nós providos pela natureza (Shalaeve, 2008, p.384).

Porém, afirma-se também que o esforço humano está ainda muito distante da complexidade da natureza, o que de alguma forma se compara a um recuo modesto (Latour, 2000), diante das limitações técnicas:

Usando esta manobra [quebra de ligações covalentes], aprendeu-se a combinar 1000 átomos em quaisquer configurações desejadas. Por mais impressionante que pareça, este nível de complexidade é uma sombra pálida do que a natureza exhibe em torno de nós (Service, 2005d, p.95).

Nesta perspectiva, o poder humano não se compara ao *perfeito controle* natural:

Estes avanços podem sugerir que conquistamos as maiores fronteiras da construção química. Ainda assim, a natureza nos mostra que estamos distantes de seu extremo controle sobre a organização química, ela possui uma capacidade extraordinária de arranjar complexas nanoestruturas com funções ativas e especializadas (Aldaye et al., 2008, p.1795).

No entanto, um olhar atento percebe uma aproximação entre a novidade tão aclamada e a natureza: as nanopartículas. Desta forma, a nanotecnologia parece antiga conhecida, já utilizada há muito tempo sem ser notada (Suresh, 2001). Ademais, esta naturalização da tecnologia deseja afirmar, perante o público, que as nanotecnologias não oferecem novos riscos sobre nossas vidas, pois elas ofereceriam a segurança dos produtos naturais que já existem desde sempre.

Neste ponto, porém, é importante retomar a diferença entre os materiais nanoestruturados, caracterizados pela intencional e organizada intervenção nanotecnológica, e as nanopartículas, que podem ser produzidas sem a ação humana ou, ao menos, não intencionalmente. Vale ainda lembrar que mesmo as nanopartículas ditas naturais podem ser tóxicas, como cinzas de vulcões, por exemplo (Buzea et al.,

2007).

Por este motivo, do ponto de vista ético, é importante diferenciar nanopartícula e nanotecnologia, artefato técnico e a tecnologia: o discurso e os interesses envolvidos aqui tornam natural aquilo que é resultado de uma intervenção técnica altamente especializada. As possíveis implicações éticas, portanto, são derivadas de decisões tomadas a partir de discursos e não de olhares desinteressados para artefatos técnicos (Dupuy, 2007).

Esta oposição evidencia uma controvérsia bastante significativa na literatura: a defesa de que a nanotecnologia não apresentaria novos riscos por manipular compostos já existentes, naturais ou artificiais já conhecidos (Proffitt, 2004) e é contrastada por alguns relatos de compostos que, por sofrerem nanoestruturação, tornaram-se mais tóxicos (Service, 2004b).

6.2.5. Potencialidade X Risco

A controvérsia entre as potencialidades e os riscos da nanotecnologia retoma um mote anterior: em linhas gerais, o discurso científico revela a potencialidade do novo ao mesmo tempo em que oferece a garantia a partir de algo já existente ou natural.

Nesta comparação específica entre potencialidade e riscos, porém, são mobilizados oponentes simbólicos importantes da ciência. A batalha contra o câncer, por exemplo, representa um cenário em que os esforços são vistos como sendo sempre válidos (Sontag, 1984).

O câncer representa a desorganização, a incontrolável reprodução de células primitivas, não diferenciadas. Representa a fuga ao inteligente controle genético que dispara os mecanismos de morte programada em células defeituosas. O discurso científico sobre o câncer ecoa na narrativa leiga como uma doença que, por razões desconhecidas, escapa à ordem natural, à homeostase orgânica e que consome o corpo em desorganização. O câncer, entre outras expressões da retórica militar, é identificado como um inimigo contra o qual a ciência e a sociedade devem batalhar

(Sontag, 1984).

Neste contexto, a nanotecnologia figura como uma arma poderosa, pois é justamente sua proposta de organizar a matéria átomo a átomo que parece oferecer o controle necessário para fazer dela a certa ferramenta para a cura do câncer (Service, 2005a). O caráter simbólico da proposta não poderia ser mais evidente: a nanotecnologia, aliada a áreas como a genética, possibilitaria o total controle sobre os processos orgânicos de forma a finalmente poder combater a desorganização, representada pela reprodução celular descontrolada, do câncer.

Isto faz com que novos riscos da nanotecnologia sejam negligenciados de várias formas:

‘Será muito, muito difícil que uma droga baseada em nanopartículas seja mais tóxica do que as drogas atualmente disponíveis’. Se isto se demonstrar verdadeiro os nanomedicamentos serão, no mínimo, menos danosos do que os atuais meios de combate ao câncer. Mas se eles funcionarem como previsto, eles devem se mostrar também mais efetivos (Service, 2005a, p.1134).

Assim, os presentes efeitos colaterais são apontados como já tão grandes que não poderiam ser piorados pela nanotecnologia (Service, 2005a). Adicionalmente, devido à urgência do desenvolvimento, a toxicidade dos produtos já conhecidos é tomada como padrão para suas versões nanoestruturadas. Por isso, são desenvolvidos aparelhos e métodos que buscam acelerar o processo de análise a partir de escolhas arbitrárias de materiais, obviamente motivados comercialmente. Frente à impossibilidade de prever se um composto, ao ser nanoestruturado, oferecerá novos riscos de toxicidade, são propostas abordagens computacionais para testar aqueles compostos pensados como os potencialmente mais problemáticos. A partir disso, seriam feitas previsões e projeções sobre outros materiais (Service, 2008).

O que se nota é uma gradação de argumentos que negligenciam os riscos. Evidentemente, este tipo de abordagem possibilita que novos produtos, não pensados inicialmente como tóxicos, entrem em contato com o meio ambiente e com a população e causem severos danos, como ocorreu no caso do amianto, comparado frequentemente à nanotecnologia por este motivo (Seaton, 2006; Service 2004b).

Esta oposição discursiva é mediada pela intenção de diminuir o medo e aumentar a receptividade pública dos derivados nanotecnológicos, buscando evitar o rechaço público generalizado, conforme ocorrido com os OGM, comparação também

bastante frequente na literatura (Moore, 2002; Brumfiel, 2003; Macnaghten, 2010).

6.2.6. Perfeição X Risco

Este objetivo do discurso científico de tranquilizar a opinião pública também é refletido na apresentação da nanotecnologia enquanto uma ferramenta que cria objetos perfeitos. No entanto, a fala que descreve os especializados métodos de organização e construção de estruturas descritas como complexas, harmoniosas, ornadas e perfeitas (Forró, 2000; Niemeyer, 2002; Buriak, 2004; Arslan et al., 2005; Ruiz et al., 2008; Liu, Yan, 2009; Lai et al., 201; Service, 2005a) contrasta com aquela de que os métodos ainda não estão perfeitamente constituídos, e que a nanotecnologia traz riscos e precisa ter seus objetivos e instrumentos melhor estabelecidos e padronizados (Sigel et al., 2002; Bai, 2005; Service, 2005e; Holden, 2007).

Um dos maiores atrativos da nanotecnologia seria sua capacidade de produzir estruturas perfeitas:

A estruturação química dos materiais brutos é repleta de imperfeições resultantes de defeitos e desuniformidades inerentes. Os nanocristais, por outro lado, são notáveis por sua perfeição cristalina e comportamento químico controlável (Buriak, 2004, p.692).

No entanto, a aclamada perfeição das estruturas derivadas da nanotecnologia se opõe, de certa maneira, ao discurso que afirma a necessidade de criar padrões e uniformizar diversos aspectos da nanotecnologia, desde nomenclatura a métodos de produção:

O novo método [uso de nanotecnologia para a análise de impressões digitais] pode ser revolucionário para o combate ao crime, diz Antonio Cantu, cientista-forense-chefe do Serviço Secreto norte-americano em Washington, DC. Mas primeiramente o método precisa ser refinado, padronizado e testado nos laboratórios policiais (Holden, 2007, p.1773).

Este é mais um jogo de revelação e ocultação no discurso, pois anuncia mais destacadamente a perfeição das estruturas - que é somente um objetivo - como se fosse um dado científico. Por outro lado, a necessidade de padronização - que é uma realidade científica da área - figura como algo secundário e menos importante.

Não é somente a necessidade de padronização que não é completamente revelada nas descrições dos promissores resultados das pesquisas. A nanotecnologia por vezes produz métodos e produtos mais caros (Bohannon, 2005); difíceis de alcançar e mais difíceis de operar (Travesset, 2011), com resultados inesperados (Sigel et al., 2002) e propriedades e consequências desconhecidas (Service, 2004b; Hopkins et al., 2005; Hurlley, Szuromi, 2006).

Esta controvérsia na caracterização da nanotecnologia, que se destacaria por perfeição e controle na produção, mas que não é inteiramente previsível, padronizada e controlada nos resultados, tem impactos éticos significativos. Dado o poder do discurso científico, anunciar vantagens de perfeição e controle e dar menos destaque ao desconhecimento científico tem impactos importantes nas decisões individuais sobre a aquisição e uso de produtos nanoestruturados e nas políticas de financiamento.

6.2.7. Inovação X Implausibilidade

A contradição entre a apresentação da nanotecnologia como revolucionária e a identificação de determinadas projeções como meras especulações ou cenários implausíveis retoma uma ideia apresentada anteriormente, de que o discurso científico tem o poder de se autovalidar. Isto porque determina qual discurso ou resultado é cientificamente aceito e qual narrativa é irreal ou implausível.

Esta oposição estabelece uma relação entre “nós” e “eles”, entre o plausível e o impossível, entre o discurso confiável e meras especulações. No entanto, o que se percebe é que ambas as visões sobre a nanotecnologia são futurísticas, tanto as científicas como as demais, tanto as tecnofílicas quanto as tecnofóbicas. As tecnofílicas, porém, são desejadas e legitimadas socialmente pelo discurso científico. Neste contexto, os cenários apocalípticos são colocados como irreais (Service, 2000; Malakoff, 2003; Proffitt, 2004; Hurlley, Szuromi, 2006):

Os cenários sobre os riscos da nanotecnologia que envolvem nanorrobôs circulando sem controle em nossos corpos ou o mundo sendo tomado por um “grey goo” são considerados altamente improváveis por muitos especialistas

(Hurtley, Szuromi, 2006, p.573).

No entanto, a cura do câncer e de muitas outras doenças (Lavine et al., 2005) e o controle absoluto do mundo átomo a átomo parecem factíveis (Service, 2011). A nanotecnologia desperta visões grandiosas:

O plano sobre nanotecnologia, parte da estratégia do diretor do *National Cancer Institute*, Andrew von Eschenbach, para eliminar a morte e o sofrimento causado pelo câncer até 2015, desenvolverá dispositivos e materiais em nanoescala para detectar e tratar o câncer (Kaiser, 2004, p.461).

6.2.8. Comentários sobre as contradições e controvérsias da nanotecnologia

De alguma forma, todas as controvérsias anteriores são comuns a outros avanços biotecnocientíficos e ressaltam a importância da análise ética das tecnologias e seus discursos e não somente dos impactos na saúde e ambientais de artefatos técnicos.

No entanto, é peculiar à nanotecnologia a síntese e manipulação de estruturas sem uma aparente utilidade em contraste com sua vocação prática de produzir dispositivos e materiais voltados para o mercado. O fato de a nanotecnologia, voltada principalmente para a solução de problemas concretos, se tornar capaz de manipular e conformar a molécula de DNA antes de identificar claramente um uso para esta capacidade cria um tipo diverso de controvérsia.

O que se percebe é uma oposição entre diferentes perspectivas sobre a realidade, mas não como a oposição entre a realidade científica e o implausível medo leigo. Talvez a mais intensa controvérsia científica, o embate científico mais bem delineado se refira a uma oposição entre a real capacidade de produção da nanotecnologia e sua aplicabilidade na vida real.

Este embate tem um contexto bastante preciso: a mais recente linha de pesquisa na nanotecnologia, a nanotecnologia de ácidos nucleicos. Como era de se esperar, é a face mais audaz, mas também a mais recente, aquela animada por maiores controvérsias.

Esta controvérsia, no entanto, revela um caráter curioso: a nanotecnologia e sua

forte interface com o mercado, como vertente tecnocientífica que visa o saber-fazer mais do que o saber logoteórico, ao atingir a capacidade de conformar tridimensionalmente a molécula de DNA, se encanta pela beleza de seu feito e por seu próprio poder, e se vê produzindo algo que inicialmente não aparenta ter utilidade (Service, 2011).

Parece que ao atingir o ápice de sua capacidade de manipular átomo a átomo as estruturas moleculares, a nanotecnologia é questionada quanto a sua utilidade (Service, 2011):

Todos os cientistas encontram rejeição quando suas propostas são dissecadas e seus artigos são submetidos ao escrutínio. O pior golpe que Ned Seeman recebeu veio após o que ele considerou na época seu maior sucesso. Seeman e colaboradores na Universidade de Nova York conseguiram construir um cubo de DNA, o primeiro objeto em nanoescala tridimensional (3D) no qual a posição de cada átomo foi programada, definida e conhecida. (...) Muitos críticos ainda não estão convencidos. Pessoas dizem (...): 'É um exercício divertido, mas inútil' (Service, 2011, p.1140).

Esta aparente inutilidade, no entanto, se opõe a uma nova narrativa onde o DNA torna-se o material nanotecnológico por excelência, devido à sua maleabilidade e capacidade de autorreplicação (Liu, Yan, 2009).

Cada uma dessas contraposições e controvérsias contribui para a construção do imaginário científico da nanotecnologia e da percepção de quais seriam suas implicações éticas. Neste contexto, encarar a nanotecnologia como um empreendimento científico em construção ajuda a perceber que as concepções e oposições aqui abordadas não são resultados meramente teóricos da análise de discurso. Estas percepções têm interesses e consequências importantes relacionados à formação da imagem pública da ciência, à política científica, aos processos de tomada de decisão e a aspectos culturais mais amplos da presente sociedade tecnológica.

A análise aqui realizada evidencia um fenômeno tecnocientífico que se enuncia por seu controle e potencialidade, anuncia-se revolucionário em suas dimensões científica e social. Assim o anúncio da revolução por parte do discurso de maior legitimidade social traz em si decorrências na maneira humana de experimentar e explicar o mundo.

Todos os aspectos até aqui comentados corroboram a análise crítica do discurso científico sobre a nanotecnologia e contribuem, desta maneira, para fundamentar a

reflexão a respeito da moralidade da nanotecnologia.

Neste ponto, torna-se interessante retomar a proposta de Dupuy (2007), abordada no capítulo anterior. Segundo o autor, para que a análise ética da nanotecnologia represente algum diferencial em relação às análises anteriores de outras biotecnologias não é necessário que seja a nanotecnologia em si a apresentar uma ruptura. O avanço é possível na própria análise ética e na sua forma de encarar as novas biotecnologias. Assim, tornam-se necessárias distinções importantes: aquela entre ética e prudência, já que a prudência pode ter outras motivações que não as morais; aquela entre ética e análise de riscos, já que os riscos não encerram todos os aspectos morais e a abordagem de análise de riscos como se faz atualmente não dá conta dos riscos específicos da nanotecnologia; e, finalmente, a diferença entre técnica e tecnologia, que conforme a abordagem aqui empreendida se fundamenta nos discursos e interesses que caracterizam a nanotecnologia como um empreendimento científico em construção.

6.3. COMO A NANOTECNOLOGIA ALTERA A CONDIÇÃO HUMANA

No entanto, segundo propõe Dupuy (2007), a real importância ética do discurso e, conseqüentemente, o propósito desta tese tornam-se claros somente na quarta distinção necessária para analisar eticamente a nanotecnologia: aquela entre natureza e condição humana.

Esta diferença é fundamental não somente para disciplinas como a antropologia e a filosofia, mas para a própria ética. Para compreender a diferença entre natureza e condição, no entanto, é importante ainda entender a polissemia do próprio termo “natureza”. Em um sentido, “natureza” remete a uma qualidade essencial e, portanto, universal e exclusiva. É universal porque não deve ser particular de apenas um indivíduo, mas dizer sobre todas as coisas dessa espécie, e exclusiva porque se refere apenas a elas e a nenhum outro tipo de coisa. Em um segundo sentido, a natureza significa o mundo material naquilo que se distingue de sua representação microcósmica no mundo das ideias (Ingold, 1994).

Estes conceitos distintos passam, porém, por uma transição semântica: a natureza humana, antes entendida em termos não materiais como essência do ser humano, agora é atribuída a aspectos biológicos. A natureza/essência passa a ser explicada por um viés natural, biológico, pois com a revolução biológica, a essência humana passa a ser material e é localizada no DNA (Nelkin, Lindee, 1995). Com isso, a polêmica discussão sobre a existência de uma natureza humana, tantas vezes já travada nas ciências humanas, é transformada em um domínio científico da biologia. Ademais, a distinção entre condição humana e natureza humana, também devido a esta transição da natureza/essência para uma essência definida como natureza biológica, tem sido marcada por uma oposição entre natureza e cultura.

A explicação genética, porém, não é a primeira tentativa de definir a humanidade por algum tipo de traço biológico, pois características da constituição corporal e até mesmo o cérebro humano já foram apontados como aquilo que distingue o homem do restante dos animais. Como as tentativas anteriores, este discurso de cunho biologicista perde a potência justamente na diversidade conceitual alcançada pela própria ciência ao aprofundar-se em seu objeto. O estudo da genética levou a tamanha diversidade nas definições de gene e relatou tantas diferentes formas de expressão e determinação dos fenótipos, que a diferença do genoma humano para o de outros animais não parece ser suficiente para distinguir nossa humanidade (Latour, 2004b).

Mas se, por um lado, os atributos humanos não podem ser reduzidos a um estudo da constituição biológica do homem, por outro, a cultura somente se realiza a partir de um arcabouço biológico (Cavarero, Butler, 2007). O estudo da condição humana, portanto, não deve partir da irredutibilidade de cada uma de suas dimensões, mas de sua inseparabilidade.

É o estudo das biotecnologias enquanto discurso, e não meramente como um conjunto de artefatos técnicos, que revela, de forma mais contundente, que não somente a cultura é fruto da natureza biológica humana, mas que a própria natureza é transformada pela cultura (Latour, 2004b).

O surgimento das biotecnologias incrementa este intercâmbio. Sua capacidade de intervenção biológica coloca novamente em pauta a questão da condição humana ao ameaçar um universal “mononaturalismo”. Isto ocorre porque a assunção da carga

genética ao posto de essência humana, rompe com a dicotomia mente/corpo e faz com que ambos os entes se tornem disponíveis para manipulação e modificação genética, já que nenhum deles, sozinho, nos define (Sibilia, 2006).

A disponibilização da vida biológica, neste contexto, representa um mecanismo de biopoder mediado por uma percepção de que não somente a eliminação da morte e do sofrimento são objetivos válidos, mas atingíveis por meio do infinito progresso biotecnocientífico (Sibilia, 2006).

O biopoder e sua capacidade de intervir sobre o biológico representam atualmente a maior manifestação de poder humano (Sloterdijk, 2011). No entanto, este poder de transformar a vida humana traz em si, paradoxalmente, o ponto de vista da obsolescência do homem, para o qual seu nascimento e sua morte representam limitações a sua liberdade (Dupuy, 2007).

Assim, a disponibilização da vida biológica e a consequente ascensão da vida nua a objeto da vida política (Agamben, 2007) são características de um homem que precisaria ser melhorado. Paradoxalmente, a liberdade vinda de sua capacidade de interferir sobre sua própria vida biológica faz com que ele se torne cativo de sua necessidade de sempre se melhorar (Anders, 2007).

Nesta perspectiva, a genética expressa apropriadamente uma nova explicação para uma suposta essência humana, ou seja, o homem em todas as suas dimensões está inscrito em um conjunto de informações pré-definidas que por meio da biotecnociência podem ser editadas (Sibilia, 2006).

Muito embora esta nova explicação genética sobre a humanidade represente uma ruptura na tradição de definir a condição humana a partir da dicotomia entre corpo e mente, ela ilustra ao mesmo tempo uma continuidade do movimento da máquina antropogênica, um dispositivo que, incessantemente atualizado, revê as decisões sobre aquilo que é verdadeiramente humano (Agamben, 2002).

Assim, a condição humana é revisada constantemente, mas permanece relacionando duas dimensões inseparáveis, natureza biológica e cultura, que se transformam mutuamente. Este contínuo intercâmbio entre natureza e cultura “significa que o homem, em grande medida, pode determinar aquilo que o determina, condicionar aquilo que o condiciona” (Dupuy, 2007, p.246).

Por este motivo, o papel principal da ética é compreender essa necessidade de sempre redefinir os critérios para definir a condição humana, para poder revelá-los, debater sobre eles e exercer influência sobre suas escolhas. Nesta medida, para Dupuy (2007), não cabe pensar que o papel primordial da ética seja o de ditar o que é bom ou o que é mal:

Seu papel é nos forçar a levantar questões desconfortáveis a respeito da condição humana que tomamos costumeiramente como dadas (Dupuy, 2007, p.248).

É do mesmo ânimo das demais biotecnologias que nasce a nanotecnologia, ou seja, da vontade de intervir para alterar e melhorar as características humanas consideradas indesejáveis, ou seja, sua morte e seu sofrimento. É por este mesmo motivo que a nanotecnologia coloca a questão da condição humana em pauta, é também por este motivo que se torna uma questão de interesse para a bioética (Dupuy, 2007).

Bem como a genética teve de deslocar a essência humana para o genoma, para que o corpo e a mente se tornassem disponíveis para intervenção e melhoramento (Sibilia, 2006), a nanotecnologia de DNA, por sua vez, anuncia também uma mudança na condição humana. Para disponibilizar o DNA, para torná-lo o mais promissor material para a nanotecnologia, a nanotecnologia nos convida a rever os critérios de definição da condição humana novamente.

No discurso científico sobre a nanotecnologia, justificado por sua flexibilidade, por sua fácil sujeição à manipulação e pela possibilidade de se autorreplicar a partir da programação estrutural desejada, o DNA possibilitaria tantos usos quantos a imaginação permitisse (Liu, Yan, 2009).

Na descrição de suas pesquisas, Aldaye et al. (2008) convidam o leitor a despir a molécula de DNA do caráter metafórico de código da vida, pois, segundo eles, a função de “código da vida” é característica de uma configuração mais simples. A nanotecnologia nos convidaria a olhar a molécula de uma forma nova e ainda mais promissora: a possibilidade infinita de obter conformações diversas do DNA permitiria que a molécula servisse como material para os mais diversos fins, como a produção de *chips*, e como molde para produzir outros nanomateriais.

Esse convite a despir o DNA de seu caráter simbólico de código da vida, outrora

tão útil, não se dá sem motivos. Ao desejar manipular, replicar e usar massivamente o DNA como material e amparo para a produção de outros materiais, sua representação como código da vida seria contraprodutiva já que despertaria medo no público em geral. Por esta razão, o uso do DNA como material nanotecnológico por excelência, em suas dimensões simbólica e discursiva, certamente produziria impacto sobre a opinião pública.

Adicionalmente, estudos realizados demonstraram que nanoestruturas de Ácido Ribonucleico (RNA), ácido nucleico similar ao DNA, quando introduzidas no conteúdo citoplasmático, podem apresentar efeitos negativos, como estresse celular, prejuízo das funções celulares e ruptura da membrana celular devido à característica de autorreplicação da molécula e seu rápido crescimento citoplasmático (Thodey, Smolke, 2011).

Assim, o paradigma biotecnocientífico, por sua característica de intervenção e controle sobre os processos orgânicos, parece atingir seu auge com o uso do DNA como material nanotecnológico. As implicações éticas disto ilustram a nanotecnologia como objeto híbrido (Latour, 1994) e questão de interesse (Latour, 2004a), que em suas dimensões científicas, sociais e discursivas, podem afetar o humano em sua saúde e bem-estar, o mundo em sua conjuntura socioeconômica e toda a representação que o homem faz de si e de seu entorno.

A eleição do DNA como material nanotecnológico ideal ilustra a presente concepção de condição humana no discurso científico ao mesmo tempo em que a ameaça.

A discussão antiga sobre o que caracterizaria uma essência humana, que recebeu novo fôlego após a separação de matriz cartesiana entre corpo e mente, tornou-se determinante para a caracterização do humano na sociedade ocidental contemporânea (Koyrè, 1991). No entanto, o paradigma biotecnocientífico e a revolução prático-cognitiva instaurada pela descoberta da relação entre hereditariedade genética e a molécula de DNA (Schramm, 1999) inauguraram um novo capítulo sobre a condição humana e aquilo que a determina. Isto porque a descoberta do DNA e o mais recente Projeto Genoma Humano estabeleceram o chamado essencialismo genético, denominação que expressa a função do DNA na sociedade ocidental. Resultado de

uma representação num contexto secularizado e moralmente plural, o código genético se apresentou como uma alternativa científica, clara e objetiva para a explicação da origem e manutenção da vida. No entanto, a retórica que explica a condição humana a partir de uma molécula, ao pretender fornecer à condição humana uma definição materialista, acaba aproximando-a, paradoxalmente, em muitos aspectos, à alma cristã. Como ela, o DNA é uma entidade de certa forma independente do corpo e que sobrevive a ele, conservando características individuais para além da existência do indivíduo. Desta forma, assim como a alma, o DNA parece imortal e garante a imortalidade do indivíduo também por meio da transmissão de características genéticas para sua descendência (Nelkin, Lindee, 1995).

O apelo espiritual não se dá somente com o DNA; as metáforas religiosas também estão presentes na descrição de proeminente pesquisador, Richard Smalley (morto recentemente), como o Moisés a guiar a todos à terra prometida:

“Rick era, mais do que qualquer outro, um Moisés para o campo”, diz Jim Heath, um especialista em nanotecnologia no Instituto Californiano de Tecnologia de Pasadena, e um ex-aluno de Pós-Graduação no Laboratório de Smalley. “Sem um Moisés, não há viagem para a terra prometida” (Service, 2005c, p.754).

A terra prometida anunciada pela nanotecnologia é, como nas demais biotecnologias, a possibilidade de eliminar o sofrimento e a morte humana.

Assim, a questão da condição humana, fundante para a bioética, é colocada de uma forma nova pelo paradigma biotecnocientífico e pelo decorrente essencialismo genético. O que é fundamentalmente humano e o caracteriza não é sua mente ou seu corpo. É o código genético, esse poderoso ícone cultural contemporâneo, que explica as características corporais e as aptidões mentais. Neste sentido, o essencialismo genético inaugura uma nova fase para a discussão sobre a condição humana, em que o ser humano, em sua complexidade social, histórica e moral, seria predefinido por seus genes. O DNA, assim, torna-se o definitivo *locus* da identidade, o último e verdadeiro *self* (Nelkin, Lindee, 1995).

Claramente, o DNA, conforme representado atualmente, deriva seu apelo cultural da ciência e, por isso, adquire tamanha importância na representação coletiva do humano e de seu entorno. A nanotecnologia, como expoente do paradigma biotecnocientífico, não foge a esta narrativa de que o código genético determinaria o

futuro humano. No entanto, ao apropriar-se deste simbolismo, a nanotecnologia acaba por ameaçá-lo. No momento em que os cientistas elegem o DNA como material nanotecnológico ideal, nos propõem despi-lo de seu caráter simbólico de código da vida e ressignificá-lo. Dado o prestígio do discurso e da prática científica, este fato certamente anuncia mudanças na representação daquilo que consideramos humano.

O homem já partido, dicotomia de mente e corpo, é reduzido à expressão de seu conteúdo genético. Neste contexto, o DNA torna-se um ícone cultural e científico tão poderoso que todos os novos avanços biotecnológicos o utilizam de alguma forma, para também corresponder ao tipo de cultura resultante da vigência do paradigma biotecnocientífico e gozar de seu prestígio social. A nanotecnologia, não foge ao esquema e também faz do DNA seu material mais importante. É neste ponto que a condição humana, como é majoritariamente representada, é posta mais uma vez em questão. É esta promessa de transformar o ser humano, seu corpo, sua identidade individual e cultural que gera todo o fascínio e medo característico dos avanços biotecnológicos, tornando o debate ético sobre a nanotecnologia tão acalorado. Se o DNA passa a ser a base para a construção de tudo, torna-se banalizado e acaba por perder sua importância simbólica como a concebemos, como isto atinge o humano?

O caráter de incerteza intrínseco da busca de novas propriedades e a intervenção precisa sobre a programação molecular são aspectos novos da nanotecnologia em relação aos avanços anteriores. No entanto, talvez seja ainda mais significativa, do ponto de vista ético, a manipulação massiva da molécula de DNA. Neste caso, certamente, serão colocadas questões referentes à toxicidade aos humanos e ao meio-ambiente, mas as transformações culturais anunciadas são ainda mais profundas. Isso porque a alteração na condição humana não se dá somente porque a intervenção sobre o DNA será mais frequente e eficiente, mas também porque ao anunciá-la como o mais promissor material nanotecnológico, a nanotecnologia acaba por ressignificá-lo e, conseqüentemente, por propor uma ressignificação da própria condição humana.

O mais importante objeto da reflexão ética é, portanto, o discurso científico e as questões de interesse que tratam da condição humana nele inscritas. Isto porque o discurso científico traz impactos para a condição humana, mesmo sem terem

acontecido:

Os homens sonham com a ciência antes de fazê-la e estes sonhos, que podem tomar a forma de ficção científica, têm um efeito sobre o mundo e transformam a condição humana, materializando-se em técnicas ou não. O objeto da ética deve, portanto, ser não a técnica somente, mas esta estrutura que provoca uma causa comum (Dupuy, 2007, p.242).

É por este motivo que as questões de interesse para a ética não são os artefatos técnicos, mas a tecnologia que possui uma dimensão discursiva capaz de transformar a condição humana mesmo sem ser realizável ainda, ou jamais chegar a sê-lo. O que suporta esta possibilidade de transformar a condição humana, quer por meio de produção técnica, quer unicamente pelo discurso, é chamado por Popper (2009) de programa de pesquisa metacientífico. Este, na verdade, pode ser entendido, de acordo com o referencial de Latour (2000), como o conjunto de dimensões que tornam coisa a nanotecnologia, e não meramente um objeto. Essas dimensões são aquilo que trazem impacto para a condição humana, mudam a concepção do humano, mudam a concepção daquilo que é disponível ou não para a ciência.

Assim sendo, o que nos diz o programa de pesquisa metacientífico da nanotecnologia é que as conquistas do homem como sujeito atingem seu máximo na ciência, pois a autonomia e liberdade, valores humanistas, fazem do homem senhor de si mesmo, que pode configurar seu destino e a si mesmo (Dupuy, 2007).

Mas, paradoxalmente, o máximo da realização do homem enquanto sujeito, o poder de determinar a si mesmo em nascimento e morte, representa o máximo de sua objetificação. Segundo Anders (2007), o preço da liberdade do homem e de sua máxima potência enquanto sujeito, representada pelo biopoder da biotecnociência, é o de encarar o fato de que o homem, mais do que antiquado (como na tradução do título em italiano de *L'uomo é antiquato*), é obsoleto. O homem, nesta perspectiva, não é somente sempre passível de ser modificado e melhorado, mas necessita desta atualização. É esta obsolescência que torna o homem objeto de si mesmo. Ao mesmo tempo em que o homem se torna capaz de se autotransformar, se tornando o único senhor de si, ele se torna disponível a si mesmo (Anders, 2007).

Esse caminhar da objetificação do homem culmina com o DNA como material nanotecnológico; ou seja, a potencialização do homem enquanto sujeito faz com que o

auge desse poder seja o completo conhecimento e capacidade de manipulação de sua própria estrutura biológica. No entanto, é sobre este mesmo biopoder, derivado do saber-fazer tecnocientífico, a maior e mais ativa das atuais controvérsias sobre a nanotecnologia no discurso científico: manipular o DNA é possível, mas qual é a utilidade?

É aí que se torna importante a análise do discurso científico, porque este saber-fazer, sem objetivo aparente, é saber-fazer o próprio homem e, ao mesmo tempo, desfazê-lo da maneira como atualmente é concebido.

Desta forma, a vida nua, esta assunção da vida meramente biológica, que, na verdade, é uma política baseada na vida biológica (Agamben, 2007), atinge seu máximo na nanotecnologia de DNA.

O próprio código genético, o maior ícone cultural atualmente, que subsume alma, mente e corpo, e que atualmente representa a própria essência do homem torna-se objeto científico (Nelkin, Lindee, 1995). Mas a caixa-preta do DNA como código da vida é aberta, não para questionar o conhecimento atual, mas para rearranjar seu valor simbólico de forma que ele possa ser utilizado de outra forma. Anunciando, assim, uma transformação na condição humana.

7

CONCLUSÕES

A presente tese teve por objetivo compreender qual a inserção e a importância ética da questão da condição humana no discurso científico sobre a nanotecnologia.

Na análise dos artigos da revista *Science* sobre a nanotecnologia, percebeu-se que a revolução, anunciada pelos autores analisados, refere-se justamente à expectativa de transformar todas as dimensões da vida humana conforme a conhecemos.

A nanotecnologia, com esta expectativa, reforça a percepção de que é crescente a necessidade de uma solução moral de validade universal para os possíveis conflitos, de dimensões globais, decorrentes dos avanços biotecnocientíficos. No entanto, à medida que as possíveis consequências envolvem um número cada vez maior de grupos humanos com culturas e moralidades diversas, tornando-se mais global, o arranjo e o consenso destas realidades locais parece cada vez menos factível (Apel, 2000).

Contudo, esta busca pela universalidade moral, que aparece em nossos dias como algo imposto pelas possíveis implicações de alcance global das aplicações biotecnocientíficas, e a própria dificuldade em atingi-la não são em nada novas. Antes, esta busca pela universalidade é o pressuposto de qualquer reflexão ética, entendida como uma sistematização filosófica da moralidade (Cortina, Martínez, 2005). Isto porque a ética, entendida como filosofia moral, independente da teoria que a fundamenta, tem como objeto o fenômeno da moralidade universalmente humano.

Em seu exercício reflexivo, a ética, portanto, não pretende partir de uma capacidade exclusiva de um determinado indivíduo ou grupo, mas pressupõe a existência de uma capacidade genérica e por isso universal do homem de agir moralmente. Esta pressuposição de um homem genérico e por isso universal, neste

sentido, é fundante para a ética e não é negada, mas reafirmada pela diversidade cultural humana. Na verdade, o que nos mostra esta diversidade é a existência da moralidade e sistematizações sobre ela que podem ser encontradas a qualquer tempo em qualquer grupo humano (Segato, 2006).

Surpreendentemente, portanto, o que aparece como tão inovador na nanotecnologia é seu apelo a pensar a questão da universalidade da condição humana, uma questão ao menos tão antiga quanto a própria ética.

Esta questão antiga, no entanto, é por vezes entendida como ultrapassada diante da crescente evidência da diversidade de dimensões e manifestações humanas. Desta maneira, os avanços tanto das ciências biológicas quanto das ciências humanas e sociais, parecem colocar a questão da condição humana em desuso.

De fato, os estudos sobre o homem o revelaram tão complexo e diverso que cada dimensão humana específica passou a ser objeto de uma área com um enfoque específico. Surgiram, desta maneira, diversas antro-po-logias. Destas, atualmente, as de maior prestígio são aquelas que privilegiam as dimensões biológicas do homem (Lima Vaz, 2011).

Mas a ascensão da biologia enquanto sistema explicativo sobre a condição humana, tornando-se, portanto, a mais poderosa das antropologias, é acompanhada pela própria elevação da vida biológica ao posto de objeto da política (Esposito, 2010). Este processo, porém, traz em si um paradoxo: a aparente potencialização das capacidades humanas de autocompreensão para a melhora de sua qualidade de vida, oferecida pelo paradigma biotecnocientífico (Schramm, 1996), torna esta vida objeto disponível para intervenção.

Em suma, o homem, ao atingir sua máxima potencialidade enquanto sujeito, ou seja, o controle biotecnológico de seu destino do nascimento à morte, tem como resultante a mais plena objetificação humana. A vida biológica, portanto, torna-se, na mesma medida, sagrada e disponível, como indica o próprio conceito de *Homo sacer* (Agamben, 2007).

É por representar mais um passo dessa escalada da vida nua a objeto de biopoder e tema da biopolítica que a nanotecnologia é revolucionária; é por colocar novamente em questão a condição humana, que provoca tanto fascínio e medo. A

nanotecnologia aparece, a partir da promessa do controle absoluto do orgânico, como o auge deste processo, tanto do poder e prestígio da biologia, principalmente da genética, quanto da disponibilização da vida nua.

A análise, aqui empreendida a partir dos artigos sobre nanotecnologia, ilustra como este prestígio do discurso científico, principalmente o biotecnocientífico, tende a se autovalidar.

A nanotecnologia, então, é divulgada como inovadora, revolucionária, potente e precisa. Em outros momentos, porém, ganha contornos mais discretos, mais seguros e conhecidos (Sparrow, 2007).

Por trás dos discursos aparentemente contraditórios e das polêmicas, a ciência que gera a nanotecnologia se revela em construção. Ademais, esta face nova da ciência, plena de adjetivos e polêmicas, desvela o processo de construção coletiva do conhecimento científico em torno da nanotecnologia (Latour, 2000).

Mais do que demonstrar fatos, o discurso científico a respeito da nanotecnologia parece procurar mobilizar aliados. Isto é o que promove polêmicas, adjetivos e anúncios de potenciais aplicações, mesmo que tudo isso não corresponda necessariamente ao que se apresenta como resultado palpável dos estudos.

Assim, nesta tentativa de sedução e convencimento, a nanotecnologia se mostra como pertencente ao paradigma biotecnocientífico; ou seja, mais do que tudo como um saber-fazer sobre o orgânico, onde a biologia não somente é um objeto de conhecimento, mas também de manipulação. É justamente desta indistinção entre representação teórica e intervenção técnica sobre o orgânico, que nasce o mais promissor alcance da nanotecnologia: o DNA como material nanotecnológico.

No entanto, este que parece o maior feito da nanotecnologia - a capacidade de conformar a molécula do DNA em qualquer configuração desejada - se torna também o ponto de maior polêmica sobre este saber-fazer em construção.

O auge do controle fornecido pela nanotecnologia pareceu a alguns, paradoxalmente, sem utilidade (Service, 2011), pois o poder máximo de controle no paradigma biotecnocientífico - a manipulação absolutamente precisa do DNA - parecia um saber-fazer sem apelo prático.

Este paradoxo, porém, não perdura. A manipulação nanotecnológica do DNA

não seria apenas útil, mas o DNA constituiria o material nanotecnológico ideal, podendo ele mesmo servir de matéria-prima, ou, ao menos, de molde para qualquer fim que se pudesse pensar. Neste sentido, no uso do DNA como material, a imaginação científica seria o único limite (Liu, Yan, 2009).

No entanto, para tornar o DNA disponível para o uso massivo como princípio fundamental de todo produto nanotecnológico, a ciência precisa realizar um deslocamento, pois o DNA agora teria uma acepção mais promissora do que aquela de código da vida (Aldaye et al., 2008).

Como a genética o fez, ao deslocar a identidade humana do dualismo mente/corpo para o código genético (Sibilia, 2006), a nanotecnologia, para disponibilizar o DNA para o uso tecnocientífico, propõe que a explicação sobre a condição humana seja revista mais uma vez. Eis a revolução cultural anunciada pela nanotecnologia.

Obviamente, neste cenário interessam à bioética muitos outros aspectos éticos além daqueles relacionados à toxicologia e à ecologia. Ademais, cabem a ela reflexões adicionais àquelas proporcionadas pela biossegurança.

O que é compreendido aqui como principal aspecto de interesse para a bioética, o que é revolucionário na nanotecnologia, ao que parece, é a “boa e velha” questão sobre a condição humana.

A recusa e, por vezes, repulsa à discussão da condição humana por boa parte das vertentes atuais das ciências humanas e sociais ocorre com a justificativa de que o humano é diverso e complexo demais para que se possa definir uma condição ou natureza universalmente humana.

No entanto, o que se percebe em tempos de biopolítica é que as ciências biológicas não se fazem de rogadas. Elas tratam da condição humana: oferecem explicações para ela e o fazem por uma tradição que vem pelo menos desde os experimentos químicos de Boyle no Século XVIII, pois a condição humana, nas ciências biológicas, é explicada por meio do mecanismo de purificação característico da condição moderna. Em suma, como objeto científico da biologia, o próprio homem concreto passa a ser puramente biológico (Latour, 1994).

Jamais fomos modernos e, embora tentemos insistentemente, este mecanismo de purificação tão apreciado como sinal de objetividade científica produz continuamente

híbridos (Latour, 1994). A nanotecnologia é um deles: embora seja produzido como se fosse unicamente científico, possui dimensões sociais, culturais, discursivas e simbólicas que ultrapassam, e muito, os laboratórios. O revolucionário da nanotecnologia, portanto, é justamente fugir dos enquadramentos da purificação e se revelar como híbrido.

Da mesma maneira, o projeto de purificação do homem como objeto científico acaba por resultar em uma explicação sobre ele que é puramente biológica. A purificação, porém, produz objetos híbridos. Assim sendo, a biologia, enquanto sistema explicativo do homem, culmina na intervenção biológica sobre ele, que gera repercussões sociais, culturais, éticas e políticas: são estes os principais efeitos da vigência do paradigma biotecnocientífico, e dos mecanismos de biopoder e a biopolítica.

À bioética, porém, não cabe a compreensão da vida humana como meramente biológica, ela não precisa realizar a purificação característica da constituição moderna. Antes, seu papel é identificar este processo e suas consequências para as formas de vida humana.

Assim, a nanotecnologia, a partir desta perspectiva, emerge como um dos objetos mais relevantes para a reflexão sobre a própria prática bioética: por ainda ser um conhecimento científico em construção, a nanotecnologia se deixa revelar por suas caixas-pretas ainda entreabertas, permite assistir a seu processo de construção e observar seu caráter de objeto híbrido com maior nitidez. Suas polêmicas ainda vivas, características do processo de construção do conhecimento científico, demonstram seu caráter coletivo e híbrido, suas dimensões sociais, culturais, políticas e éticas.

A bioética, portanto, ao acompanhar esta purificação em andamento percebe como o debate ético é frequentemente evitado, quase sempre subestimado pelo discurso científico. Primeiramente, porque a ciência desautoriza os cenários que provocam medo, considerando-os implausíveis, para então afirmar que o debate ético deve ater-se à realidade: desta forma, os impactos éticos da nanotecnologia a serem discutidos seriam somente aqueles ambientais e os que dizem respeito à saúde humana. Mas, ao afirmar que a prevenção e as medidas a serem tomadas frente a estes potenciais impactos são, essencialmente, medidas de biossegurança, o discurso

científico não somente evita a polêmica, mas esvazia a importância do debate ético.

Adicionalmente, o pretensão apelo à realidade e à objetividade é traído quando o discurso científico revela seu fascínio diante da potencialidade de seus achados. A capacidade de manipular precisamente o DNA, fazer dele o que se queira, é empolgante. Esta excitação faz com que a ciência reabra uma caixa-preta, um fato científico que lhe é muito caro: o DNA enquanto código da vida.

É nesta medida que se torna essencial a análise do discurso científico. Acompanhar a reabertura desta caixa, a revisão desta afirmação científica do DNA enquanto código da vida, revela o auge da vida nua e mais um ciclo da máquina antropogênica descrita por Agamben (2002).

A vida biológica torna-se tão importante que o DNA, como código da vida, torna-se um dos maiores ícones culturais da contemporaneidade (Nelkin, Lindee, 1995). Este prestígio do DNA é tão determinante para a ciência, que a nanotecnologia o eleva a material ideal, o princípio, porque matéria-prima ou molde, para a produção de qualquer novo material. No entanto, este elevado apreço pelo DNA culmina com sua própria disponibilização. O que é sagrado, o código da vida, passa a ser disponibilizado, profanado. O auge da ascensão da vida nua faz do código da vida um “pau-para-toda-obra”, e anuncia uma mudança na representação que o homem faz de si.

É esta a tese: a nanotecnologia nos serve de objeto modelo para compreender de forma mais clara o próprio papel da bioética. A bioética não é a ética da vida, termo, este, demasiadamente denso e indistinto, mas ética da condição humana, termo situado. Para isso, é preciso que a reflexão bioética se dê conta do caráter situado histórica e culturalmente da condição humana, pois somente assim, a bioética passa a exercer seu papel de resistência à biopolítica. Somente o faz, porém, quando parte em sua análise não de um *bíós* ambíguo e compartilhado com a biopolítica, mas de uma condição humana situada e, portanto, permanentemente revista.

É ao reconhecer esta contínua revisão, esta máquina antropogênica (Agamben, 2002), hoje operada pelas biotecnologias e à qual a nanotecnologia propõe um novo ciclo, que a bioética pode tornar-se apta a ocupar nela também um lugar teoricamente relevante e socialmente significativo.

É ao reconhecer que a condição humana é descrita a partir de critérios diversos

ao longo do tempo e que, desde a revolução biológica, são as biotecnologias a determiná-los, que a bioética pode assumir seu papel no diálogo sobre estes novos critérios e suas implicações éticas.

Evidentemente, esta tese não esgota teoricamente a relação entre a condição humana e as biotecnologias. Para acercar melhor o objeto, torna-se importante, no futuro, pesquisas no sentido de acompanhar as atividades científicas e laboratoriais sobre as novas biotecnologias, para compreender como este panorama de transformação da condição humana atinge e influencia as práticas científicas e seus produtos.

Outra vertente importante para a continuidade dos objetivos propostos por esta tese é a busca por diálogo com outras áreas como a antropologia e a filosofia para a abordagem das transformações na condição humana propostas pelo avanço tecnocientífico e biotecnocientífico.

REFERÊNCIAS

- Abrantes P. Problemas metodológicos em historiografia da ciência. In: Waldomiro J (ed.). Epistemologia e ensino das ciências. Salvador: Arcadia/UCSAL; 2002. p.51-91.
- Abrantes P. Imagens de natureza, de ciência, e educação: o caso da revolução francesa. In: Stein S, Kuiava E (Org). Linguagem, ciência e valores: sobre as representações humanas do mundo. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul (EDUCS); 2006. p.11-58.
- Agamben G. Mezzi senza fine: note sulla politica. Torino: Bollati Boringhieri; 1996.
- Agamben G. L'aperto: l'uomo e l'animale. Milano: Bollati Boringhieri; 2002.
- Agamben G. *Homo sacer*: o poder soberano e a vida nua I. Belo Horizonte: Editora UFMG; 2007.
- Aldaye FA, Palmer AL, Sleiman HF. Assembling materials with DNA as the guide. Science 2008; 321(5897): 1795-9.
- Allain JM. As representações sociais dos transgênicos na relação entre ciência, tecnologia e sociedade: suas implicações para a divulgação científica. [Tese]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2007.
- Allhoff F. On the autonomy and justification of nanoethics. Nanoethics 2007; 1(3): 185-210.
- Anders G. L'uomo é antiquato II: sulla distruzione della vita nell'epoca della terza rivoluzione industriale. Torino: Bollati Boringhieri; 2007.
- Apel K-O. A transformação da filosofia. Vol I. São Paulo: Loyola; 2000.
- Arslan I, Yates TJV, Browning ND, Midgley PA. Embedded nanostructures revealed in three dimensions. Science 2005; 309(5744): 2195-8.
- Awareness Hart Research Associates (AHRA). Nanotechnology, synthetic biology & public opinion: a report of findings based on a national survey among adults. Conducted on behalf of Project on Emerging Nanotechnologies; 2009. [Acesso em 04 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/8286/nano_synbio.pdf
- Bai C. Ascent of nanoscience in China. Science 2005; 309(5731): 61-3.
- Balzani V. Nanoscience and nanotechnology: the bottom-up construction of molecular devices and machines. Pure and Applied Chemistry 2008; 80(8): 1631-50.
- Barbaras R. A alma e o cérebro. In: Novaes A (org). O homem-máquina: a ciência manipula o corpo. São Paulo: Companhia das Letras; 2003. p.65-76.

- Batson P. Plasmonic modes revealed. *Science* 2012; 335(6064): 47-8.
- Baughman RH. Putting a new spin on carbon nanotubes. *Science* 2000; 290(5495): 1310-1.
- Beauchamp TL, Childress JF. Principles of biomedical ethics. 6 ed. New York: Oxford University Press; 2008.
- Beecher H. Ethics and clinical research. *The New England Journal of Medicine* 1966; 274(24): 1354-60.
- Bell D. O advento da sociedade pós-industrial. São Paulo: Cultrix; 1974.
- Benakouche T. Tecnologia é sociedade: contra a noção de impacto tecnológico. *Cadernos de Pesquisa PPGSP* 1999; 17: 1-28.
- Berlinguer G. Bioética cotidiana. Brasília: Editora UnB; 2004.
- Besenbacher F, Nørskov JK. How to power a nanomotor. *Science* 2000; 290(5496): 1520.
- Best R, Khushf G, Wilson R. A sympathetic but critical assessment of nanotechnology initiatives. *Journal of Law, Medicine & Ethics* 2006; 34(4): 655-7.
- Bhattacharjee Y. Politics. *Science* 2006; 311(5761): 605.
- Bhattacharyya D, Singh S, Satnalika N, Khandelwal A, Jeon SH. Nanotechnology, big things from a tiny world: a review. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology* 2009; 2(3): 29-38.
- Bohannon J. 'Smart coatings' research shows the virtues of superficiality. *Science* 2005; 309(5733): 376-7.
- Boltasseva A, Atwater HA. Low-loss plasmonic metamaterials. *Science* 2011; 331(6015): 290-1.
- Bostrom N. Technological revolutions: ethics and policy in the dark. In: Cameron NMS, Mitchell ME. *Nanoscale: issues and perspectives for the nanocentury*. New Jersey: Wiley; 2007. p.129-52.
- Bourdieu P. *Il mestiere di scienziato*. Milano: Feltrinelli; 2003.
- Braga SR, Vlach VRF. Os usos políticos da tecnologia, o biopoder e a sociedade de controle: considerações preliminares. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* 2004; VIII-170(42).
- Brett MJ, Hawkeye MM. New materials at a glance. *Science* 2008; 319(5867): 1192-3.
- Brink J, McKelvey M, Smith KH. Conceptualizing and measuring modern biotechnology. In: McKelvey M, Rickne A, Laage-Hellman J. *The economic dynamics of modern biotechnology*. Massachusetts: Edward Elgar Publishing; 2004. p.20-40.
- Brongersma ML, Shalaev VM. The case for plasmonics. *Science* 2010; 328(5970): 440-1.
- Brumfiel G. Nanotechnology: A little knowledge... *Nature* 2003; 424(6946): 246-8.
- Buriak JM. Chemistry with nanoscale perfection. *Science* 2004; 304(5671): 692-3.

- Burton KW. Awards. *Science* 2007; 315(5809): 169.
- Buzea C, Blandino IIP, Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases* 2007; 2(4): MR17–172.
- Cao G. *Nanostructures & nanomaterials: synthesis, properties & applications*. London: Imperial College Press; 2006. p.1-14.
- Cavarero A, Butler J. Condição humana contra "natureza". *Revista Estudos Femininos* 2007; 15(3): 650-62.
- Cho A. Pretty as you please, curling films turn themselves into nanodevices. *Science* 2006; 313(5784): 164-5.
- Clift R. Nanotechnology: an example of risk management and regulation in an emerging technology. In: Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). *Proceedings of special session of the joint meeting: potential implications of manufactured nanomaterials for human health and environmental safety*; 2005. [Acesso em 12 de dezembro de 2010]. Disponível em: <http://sei.nnin.org/doc/resource/clift%20report.pdf>
- Commission de l'Éthique en Science et en Technologie (CEST). *Éthique et nanotechnologies: se donner les moyens d'agir*; 2006. [Acesso em 10 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/ftp/Nano_Web_BD.pdf
- Commission of the European Communities (CEC). *A code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research: a Commission recommendation* of 07/02/2008; 2008. [Acesso em 12 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/nanocode-rec_pe0894c_en.pdf
- Cortina A, Martínez E. *Ética*. São Paulo: Loyola; 2005.
- Crowe S. Understanding the ethical implications of nanotechnology: highlights of a limited inquiry by the President's Council on Bioethics; 2008. [Acesso em 23 de novembro de 2011]. Disponível em: http://www.bioethics.gov/background/nanotechnology_implications.htm
- Cunningham SW, Porter AL. Bibliometric discovery of innovation and commercialization pathways in nanotechnology. *Technology management in the energy smart world – proceedings of PICMET`11*; 2011. [Acesso em 06 de dezembro de 2011]. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6017795&isnumber=6017605>
- Deleuze G. Foucault. Minneapolis: University of Minnesota Press; 1988.
- Doubleday R. *The laboratory revisited: academic science and the responsible development of*

- nanotechnology. *Nanoethics* 2007; 1(2): 167-76.
- Dresselhaus MS. Burn and interrogate. *Science* 2001; 292(5517): 650-1.
- Drexler KE. Nanotechnology: from Feynman to funding. *Bulletin of Science, Technology & Society* 2004; 24(1): 21-7.
- Dupuy J-P. Some pitfalls in the philosophical foundations of nanoethics. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3): 237-61.
- Dupuy, J-P. Les défis éthiques des nanotechnologies. *Science & Devenir de l'Homme Les Cahiers du MURS* 2006; 47: 53-67.
- Dzenis Y. Spinning continuous fibers for nanotechnology. *Science* 2004; 304(5679): 1917-9.
- Engelhardt Jr HT. Bioética global: uma introdução ao colapso do consenso. In: ____ (Org). *Bioética global: o colapso do consenso*. São Paulo: Ed Paulinas; 2012. p.19-40.
- Esposito R. *Bios: biopolítica e filosofia*. Lisboa: Edições 70; 2010.
- Feenberg A. *Questioning technology*. London: Routledge; 1999.
- Ferrari A. Is it all about human nature? The ethical challenges of converging technologies beyond a polarized debate. *Innovation, the European Journal of Social Science Research* 2008; 21(1): 1-24.
- Ferrari A. Developments in the debate on nanoethics: traditional approaches and the need for new kinds of analysis. *Nanoethics* 2010, 4(1): 27-52.
- Feynman RP. There's plenty of room at the bottom. In: Gilbert HD. *Miniaturization*. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1961. p.282-96. (também publicado em *Engineering and Science* 1960; 23: 22-36 e disponível em <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>).
- Fischer M. *Futuros antropológicos: redefinindo a cultura na era tecnológica*. Rio de Janeiro: Zahar; 2011.
- Foroughi J, Spinks GM, Wallace GG, Oh J, Kozlov ME, Fang S, Mirfakhrai T, Madden JDW, Shin MK, Kim SJ, Baughman RH. Torsional carbon nanotube artificial muscles. *Science* 2011; 334(6055): 494-7.
- Forró L. Beyond gedanken experiments. *Science* 2000; 289(5479): 560-1.
- Foucault M. *História da sexualidade I: a vontade de saber*. São Paulo: Graal; 2010.
- Franklin S. Science as culture, cultures of science. *Annual Review of Anthropology* 1995; 24: 163-84.
- Gadamer H. *Verdade e método*. Petrópolis: Vozes; 1999.
- Garrafa V, Porto D. Intervention bioethics: a proposal for peripheral countries in a context of power and injustice. *Bioethics* 2003; 17(5-6): 399-416.

- Geertz C. Nova luz sobre a antropologia. Rio de Janeiro: Zahar; 2001.
- Gleiser M. A dança do Universo: dos mitos de criação ao Big Bang. São Paulo: Companhia das Letras; 1997.
- Gogotsi Y, Simon P. True performance metrics in electrochemical energy storage. *Science* 2011; 334(6058): 917-8.
- Grin J, Grunwald A (eds.). Vision assessment: shaping technology in 21st Century Society. Heidelberg: Springer; 2000.
- Grunwald A, Julliard Y. Nanotechnology — steps toward understanding human beings as technology? *Nanoethics* 2007; 1(2): 77-87.
- Grunwald A. Nanotechnology: a new field of ethical inquiry? *Science and Engineering Ethics* 2005; 11(2): 187-201.
- Guchet X, Bensaude-Vincent B. Nanomachine: technological concept or metaphor? In: Jotterand F (org). Emerging conceptual, ethical and policy issues in bionanotechnology. Dordrecht: Springer; 2008. p.27-42.
- Habermas J. O futuro da natureza humana: a caminho da eugenia liberal? São Paulo: Martins Fontes; 2004.
- Hamburg MA. FDA's approach to regulation of products of nanotechnology. *Science* 2012; 336(6079): 299-300.
- Han D, Pal S, Nangreave J, Deng Z, Liu Y, Yan H. DNA origami with complex curvatures in three-dimensional space. *Science* 2011; 332(6027): 342-6.
- Hardt M, Negri A. Império. Rio de Janeiro: Record; 2001.
- Harris J, Holm S. Extending human lifespan and the precautionary paradox. *Journal of Medicine and Philosophy* 2002; 27(3): 355–68.
- Heidegger M. Carta sobre o humanismo. São Paulo: Moraes; 1991.
- Holden C. Nanofinger. *Science* 2007; 315(5820): 1773.
- Holden C. Master of nanotechnology. *Science* 2009; 325(5936): 15.
- Holm S, Takala T. High hopes and automatic escalators: a critique of some new arguments in bioethics. *Journal of Medical Ethics* 2007; 33(1):1-4.
- Holm S. Reply to Sandin: the paradox of precaution is not dispelled by attention to context. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* 2006; 15(2): 184-7.
- Hopkins DS, Pekker D, Goldbart PM, Bezryadin A. Quantum interference device made by DNA templating of superconducting nanowires. *Science* 2005; 308(5729): 1762-5.
- Hubbs AF, Mercer RR, Benkovic SA, Harkema J, Sriram K, Schwegler-Berry D, Goravanahally MP, Nurkiewicz TR, Castranova V, Sargent LM. Nanotoxicology — a pathologist's

- perspective. *Toxicologic Pathology* 2011; 39(2): 301-24.
- Hurtley S, Szuromi P. Assessing nanomaterial safety. *Science* 2006; 311(5761): 573.
- Ingold T. Humanity and animality. In: _____. *Companion encyclopedia of anthropology*. Londres: Routledge; 1994. p.14-32.
- Invernizzi N, Foladori G. Nanotechnology and the developing world: will nanotechnology overcome poverty or widen disparities? *Nanotechnology Law & Business Journal* 2005; 2(3): 101-10.
- Invernizzi N. Visions of brazilian scientists on nanosciences and nanotechnologies. *Nanoethics* 2008; 2(2): 133-48.
- Jacob Z, Shalaev VM. Plasmonics goes quantum. *Science* 2011; 334(6055): 463-4.
- Joachim C. To be or not to be nano. *Nature Materials* 2006; 4(2): 107-9.
- Jones RAL. Hollow centre. *Nature* 2005; 440(7087): 995.
- Jones RAL. What has nanotechnology taught us about contemporary technoscience? In: Zülsdorf T, Coenen C, Ferrari A, Fiedeler U, Milburn C, Wienroth M. *Quantum engagements: social reflections of nanoscience and emerging technologies*. Amsterdam: IOS Press; 2011. p.13-26.
- Jotterand F. Nanotechnology, bioethics and the techno-scientific revolution: philosophical and ethical assessment of nanotechnology and its applications in medicine [Tese]. Houston: Rice University; 2005.
- Jungues JR. O nascimento da bioética e a constituição do biopoder. *Acta Bioethica* 2011; 17(2): 171-8.
- Kaiser J. Cancer nanotech plan gets nod of approval. *Science* 2004; 305(5683): 461.
- Kaiser M. Drawing the boundaries of nanoscience: rationalizing the concerns? *Journal of Law, Medicine and Ethics* 2006; 34(4): 667-74.
- Katz J. "Ethics and clinical research" revisited: a tribute to Henry K. Beecher. *The Hastings Center Report* 1993; 23(5): 31-9.
- Kay L, Shapira P. The potential of nanotechnology for equitable economic development: the case of Brazil. *Yearbook of Nanotechnology in Society* 2011; 2(4): 309-29.
- Kearnes M, Grove-White R, MacNaghten P, Wilsdon J, Wynne B. From bio to nano: learning lessons from the UK agricultural biotechnology controversy. *Science as Culture* 2006; 15(4): 291-307.
- Keiper A. The nanotechnology revolution. *New Atlantis* 2003; (2): 17-34.
- Keiper A. Nanoethics as a discipline? *New Atlantis Spring* 2007; (16): 55-67.
- Khushf G. The ethics of NBIC convergence. *Journal of Medicine and Philosophy* 2007; 32(3):

185-96.

- Klaine SJ, Alvarez PJJ, Batley GE, Fernandes TF, Handy RD, Lyon DY, Mahendra S, McLaughlin MJ, Lead JR. Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2008; 27(9): 1825–51.
- Kleinman A. Experience and its moral modes: culture, human conditions, and disorder. In: Peterson GB (Ed.). *The Tanner lectures on human values*. Vol. 20. Salt Lake City: University of Utah Press; 1999. p.355-420.
- Köhler M, Frieztzsche W. *Nanotechnology: an introduction to nanostructuring techniques*. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH; 2007. p.5-8.
- Korgel BA. Nanosprings take shape. *Science* 2005; 309(5741): 1683-4.
- Kostoff RN, Koytcheff RG, Lau CGY. Structure of the nanoscience and nanotechnology applications literature. *Journal of Technology Transfer* 2008; 33: 472-84.
- Koyrè A. As origens da ciência moderna: uma nova interpretação. In: _____. *Estudos de história do pensamento científico*. 2 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária; 1991. p.56-79.
- Kuhlbusch TAJ, Asbach C, Fissan H, Göhler D, Stintz M. Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: a review. *Particle and Fibre Toxicology* 2011; 8(22): 1-18.
- Lai Y-T, Cascio D, Yeates TO. Structure of a 16-nm cage designed by using protein oligomers. *Science* 2012; 336(6085): 1129.
- Latour B, Woolgar S. *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará; 1997.
- Latour B. *Jamais fomos modernos*. Rio de Janeiro: 34 Literatura; 1994.
- Latour B. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo: Editora Unesp; 2000.
- Latour B. Why has critique run out of steam? From matters of fact to matters of concern. *Critical Inquiry* 2004a; 30(2): 225-48.
- Latour B. Por uma antropologia do centro. *Mana* 2004b; 10(2): 397-414.
- Lavine MS, Vinson V, Coontz R. Design for living. *Science* 2005; 310(5751): 1131.
- Lavine MS. Nanoparticle films. *Science* 2005a; 308(5723): 759.
- Lavine MS. Capturing the fine details. *Science* 2005b; 309(5740): 1459.
- Lawrence PA. The politics of publication authors, reviewers and editors must act to protect the quality of research. *Nature* 2003; 422(6929): 259-61.

- Lenk C, Biller-Andorno N. Nanomedicine: emerging or re-emerging ethical issues? A discussion of four ethical themes. *Medicine, Health Care and Philosophy* 2007; 10(2): 173-84.
- Lévi-Strauss C. *História de lince*. São Paulo: Companhia das Letras; 1993.
- Lewenstein BV. What counts as a 'social and ethical issue' in nanotechnology? *Hyle Internacional Journal for Philosophy of Chemistry* 2005; 11(1):5-18.
- Lewis NS. Toward cost-effective solar energy use. *Science* 2007; 315(5813): 798-801.
- Leydesdorff L, Zhou P. Nanotechnology as a field of science: its delineation in terms of journals and patents. *Scientometrics* 2007; 70(3): 693-713.
- Lima Vaz HC. *Antropologia filosófica*. Vol I. 11 ed. São Paulo: Loyola; 2011.
- Lin P, Allhoff F. Nanoethics and human enhancement: a critical evaluation of recent arguments. *Nanotechnology Perceptions* 2006; 2(1): 47–52.
- Litton P. 'Nanoethics'? What's new?. *Hastings Center Report* 2007; 37(1): 22-5.
- Liu K, Nie Z, Zhao N, Li W, Rubinstein M, Kumacheva E. Step-growth polymerization of inorganic nanoparticles. *Science* 2010; 329(5988): 197-200.
- Liu Y, Yan H. Designer curvature. *Science* 2009; 325(5941): 685-6.
- Macnaghten P, Guivant JS. Converging citizens? Nanotechnology and the political imaginary of public engagement in Brazil and the United Kingdom. *Public Understanding of Science* 2011; 20(2): 207-20.
- Macnaghten P. Researching technoscientific concerns in the making: narrative structures, public responses, and emerging nanotechnologies. *Environment and Planning A* 2010; 42(1): 23-37.
- Malakoff D. Congress wants studies of nanotech's 'dark side'. *Science* 2003; 301(5629): 27.
- Mansoori GA. *Principles of nanotechnology: molecular-based study of condensed matter in small systems*. New York: World Scientific; 2005.
- Marques JF. Éthos e ética em Heidegger. *Educação e Filosofia* 1989; 4(7): 59-66.
- Marshall E. Swansea U goes deep into supercomputing. *Science* 2005; 307(5707): 193.
- Mauter MS, Elimelech M. Environmental applications of carbon-based nanomaterials. *Environmental Science & Technology* 2008; 42(16): 5843-59.
- Maynard AD. Don't define nanomaterials. *Nature* 2011; 475(7354): 31.
- Merleau-Ponty M. *Sinais*. Lisboa: Minotauro; 1962.
- Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. 'Mind the gap': science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003; 14(3): R9-13.
- Moore FN. Implications of nanotechnology applications: using genetics as a lesson. *Health Law Review* 2002; 10(3): 9-15.

- Mordini E. The narrative dimension of nanotechnology. *Nanotechnology Perceptions* 2007; 3: 15–24.
- Mori M. *Manuale di bioética: verso uma civilização biomédica secularizada*. Firenze: Le Lettere; 2010.
- Murphy CJ. Nanocubes and nanoboxes. *Science* 2002; 298(5601): 2139-41.
- National Nanotechnology Initiative (NNI). The National Nanotechnology Initiative 2012 supplement to the President's Budget; 2011. [Acesso em 30 de agosto de 2011]. Disponível em: <http://www.nano.gov/node/602>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). What's so special about the nanoscale? Leading to a revolution in technology and industry that benefits society; 2012. [Acesso em 28 de junho de 2012]. Disponível em: <http://www.nano.gov/nanotech-101/special>
- National Research Council (NRC). A matter of size. Triennial review of the national nanotechnology initiative; 2006. [Acesso em 12 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11752
- National Science and Technology Council (NSTC). National Nanotechnology Initiative: leading to the next industrial revolution: a report by the Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology Committee on Technology; 2000. [Acesso em 12 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://clinton4.nara.gov/WH/New/html/20000121_4.html
- National Science Foundation (NSF). Nanotechnology definition; 2000. [Acesso em 12 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/omb_nifty50.jsp
- Nelkin D, Lindee MS. *The DNA mystique: the gene as a cultural icon*. New York: Freeman; 1995.
- Neves MCP. A fundamentação antropológica da bioética. *Revista Bioética* 1996; 4(1): 7-16.
- Niemeyer CM. Tools for the biomolecular engineer. *Science* 2002; 297(5578): 62-3.
- Nietzsche FW. *Assim falou Zaratustra*. São Paulo: Martin Claret; 2002.
- Nordmann A. Molecular disjunctions: staking claims at the nanoscale. In: Baird D, Nordmann A, Schummer J (eds.). *Discovering the nanoscale*. Amsterdam: IOS Press; 2004.
- Nordmann A. If and then: a critique of speculative nanoethics. *Nanoethics* 2007; 1(1): 31-46.
- Novaes A. A ciência no corpo. In: _____. *O homem máquina: a ciência manipula o corpo*. São Paulo: Companhia das Letras; 2003. p.7-14.
- Olivé L. El bien, el mal y la razón: facetas de la ciencia y de la tecnología. México: Paidós; 2000.
- Olivé L. Epistemologia na ética e nas éticas aplicadas. In: Garrafa V, Kottow M, Saada A (orgs).

- Bases conceituais da bioética, enfoque latino-americano. São Paulo: Gaia; 2006. p.121-41.
- Osborne I, Clery D. Higher standards. *Science* 2004; 306(5700): 1307.
- Osorio C. El problema de la verdad en la filosofía tardomoderna. *Diálogos* 2000; 35(76): 29-64.
- Osorio C. La educación científica y tecnológica desde el enfoque en ciencia, tecnología y sociedad. *Revista Ibero-americana de Educación* 2002; 28: 61-81.
- Overly D. *Lonely hearts of the cosmos: the scientific quest for the secret of the universe*. New York: Harper Collins; 1991.
- Pääbo S. Genomics and society: the human genome and our view of ourselves. *Science* 2001; 291(5507): 1219-20.
- Parak WJ. Complex colloidal assembly. *Science* 2011; 334 (6061): 1359-60.
- Petersen A, Anderson A. A question of balance or blind faith? Scientists and science policymakers representations of the benefits and risks of nanotechnologies. *Nanoethics* 2007; 1(3): 243-56.
- Peterson M. The precautionary principle is incoherent. *Risk Analysis* 2006; 26(3): 595-601.
- Popper K. Darwinism as a metaphysical research programme. In: Ruse M. *Philosophy after Darwin: classic and contemporary readings*. Princeton: Princeton University Press; 2009. p.167-74.
- Pottage A. The socio-legal implications of the new biotechnologies. *Annual Review of Law and Social Science* 2007; 3: 321-44.
- Potter VR. *Bioethics: bridge to the future*. New Jersey: Prentice Hall; 1971.
- Premebida A, Neves FM. A dinâmica social da verdade e neutralidade científicas: o caso das novas biotecnologias. *Ciência em Movimento* 2009; 11(22): 7-18.
- Premebida A. Uma leitura das inovações bio(nano)tecnológicas a partir da sociologia da ciência. *Caderno IHU Ideias* 2008; 102: 1-32.
- Proffitt F. Yellow light for nanotech. *Science* 2004; 305(5685): 762.
- Pyrrho M. Nanociência e bioética: novas abordagens éticas para novos paradigmas científicos. *Revista Brasileira de Bioética* 2008; 4(3-4): 222-35.
- Pyrrho M. Nanotechnology and ethics: assessing the unforeseeable. In: Rudnick A (org). *Bioethics in the 21st Century*. Rijeka: Intech; 2011. p.121-38.
- Raj B. Regulating nanomedicine - can the FDA handle it? *Current Drug Delivery* 2011; 8(3): 227-34.
- Ratner M, Ratner D. *Nanotechnology: a gentle introduction to the next big idea*. New Jersey: Prentice Hall; 2003.

- Ray LB. The heart of nanotechnology. *Science* 2010; 327(5967): 763.
- Reches M; Gazid E. Casting metal nanowires within discrete self-assembled peptide nanotubes. *Science* 2003; 300(5619): 625-7.
- Roco MC, Mirkin CA, Hersameds MC (eds). Nanotechnology research directions for societal needs in 2020. Berlin: Springer; 2010. [Acesso em 12 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://www.wtec.org/nano2/Nanotechnology_Research_Directions_to_2020/
- Roco MC, Mirkin CA, Hersameds MC. Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: summary of international study. *Journal of Nanoparticle Research* 2011; 13(3): 897-919.
- Roco MC. International strategy for nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research* 2001; 3(5): 353-60.
- Roco MC. Nanotechnology: from discovery to innovation and socioeconomic projects. *Chemical Engineering Progress* 2011; 171(5): 21-7.
- Rothmund PWK. Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. *Nature* 2006; 440(7082): 297-302.
- Ruiz R, Kang H, Detcheverry FA, Dobisz E, Kercher DS, Albrecht TR, Pablo JJ, Nealey PF. Density multiplication and improved lithography by directed block copolymer assembly. *Science* 2008; 321(5891): 936-9.
- Sadin E. La Société de l'anticipation: le web précognitif ou la rupture anthropologique. Paris: Éditions Inculte; 2011.
- Sahoo SK, Parveen S, Panda JJ. The present and the future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine, Nanotechnology, Biology and Medicine* 2007; 3(1): 20-31.
- Salvarezza RC. Why is nanotechnology important for developing countries? In: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Proceedings of the third session of the world commission on the ethics of scientific knowledge and technology; 2003. p.134-6.
- Sandler R. Nanotechnology: the social and ethical issues. Technical report. Washington: Woodrow Wilson International Center for Scholars, Project on Emerging Technologies; 2009. [Acesso em 12 de dezembro de 2011]. Disponível em: http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7060/nano_pen16_final.pdf
- Sanvicens N, Marco MP. Multifunctional nanoparticles – properties and prospects for their use in human medicine. *Trends in Biotechnology* 2008; 26(8): 425-33.
- Sardar R, Funston AM, Mulvaney P, Murray RW. Gold nanoparticles: past, present, and future. *Langmuir* 2009, 25(24): 13840–51.

- Savadori L, Savio S, Nicotra E, Rumiati R, Finucane M, Slovi P. Expert and public perception of risk from biotechnology. *Risk Analysis* 2004; 24(5): 1289-99.
- Schliehe C, Juarez BH, Pelletier M, Jander S, Greshnykh D, Nagel M, Meyer A, Foerster S, Kornowski A, Klinke C, Weller H. Ultrathin PbS sheets by two-dimensional oriented attachment. *Science* 2010; 329(5991): 550-3.
- Schramm FR. Paradigma biotecnocientífico e paradigma bioético. In: Oda LM (ed.). *Biosafety of transgenic organisms in human health products*. Rio de Janeiro: Fiocruz; 1996. p.109-27.
- Schramm FR. Eugenia, eugenetica e o espectro do eugenismo: considerações atuais sobre biotecnociência e bioética. *Revista Bioética* 1997; 5(2): 203-20.
- Schramm FR. Bioética e moralidade das biotecnologias. In: Emerick MC, Valle S, Costa MAF (coord.). *Gestão biotecnológica: alguns tópicos*. Rio de Janeiro: Interciência; 1999. p.123-30.
- Schramm FR. O uso problemático do conceito 'vida' em bioética e suas interfaces com a práxis biopolítica e os dispositivos de biopoder. *Revista Bioética* 2009; 17(3): 377-89.
- Schramm FR. Bioética, biossegurança e a questão da interface no controle das práticas da biotecnociência: uma introdução. *Revista Redbioética/UNESCO* 2010a; 1(2): 99-110.
- Schramm FR. Existem boas razões para se temer a biotecnociência? *Bioethikos* 2010b; 4(2): 189-97.
- Schramm FR. A bioética como forma de resistência à biopolítica e ao biopoder. *Revista Bioética* 2010c; 18(3): 519-35.
- Schramm FR. Uma breve genealogia da bioética em companhia de Van Rensselaer Potter. *Bioethikos* 2011; 5(3): 302-8.
- Schummer J. Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology. *Scientometrics* 2004a; 59(3): 425-65.
- Schummer J. Societal and ethical implications of nanotechnology: meanings, interest groups, and social dynamics. *Techné* 2004b; 8(2): 56-87.
- Schummer J. Identifying ethical issues of nanotechnologies. In: Ten Have HAMJ (ed.). *Nanotechnologies, ethics and politics*. Paris: UNESCO Publishing; 2007. p.79-98.
- Science. About the journal; 2011. [Acesso em 01 de dezembro de 2011]. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/site/about/index.xhtml>.
- Seaton A. Nanotechnology and the occupational physician. *Occupational Medicine* 2006; 56(5): 312-16.

- Segato RL. Antropologia e direitos humanos: alteridade e ética no movimento de expansão dos direitos universais. *Mana* 2006; 12(1): 207-36.
- Service RF. Is nanotechnology dangerous? *Science* 2000; 290(5496): 1526-7.
- Service RF. Biology offers nanotechs a helping hand. *Science* 2002; 298(5602): 2322-3.
- Service RF. Sorting technique may boost nanotube research. *Science* 2003; 300(5628): 2018.
- Service RF. NCI backs nano in cancer war. *Science* 2004a; 305(5691): 1691.
- Service RF. Nanotechnology grows up. *Science* 2004b; 304(5678): 1732-4.
- Service RF. Nanotechnology takes aim at cancer. *Science* 2005a; 310(5751): 1132-4.
- Service RF. Color-changing nanoparticles offer a golden ruler for molecules. *Science* 2005b; 308(5725): 1099.
- Service RF. 'Grandfather of nanotech' dies at 62. *Science* 2005c; 310(5749): 754.
- Service RF. How far can we push chemical self-assembly? *Science* 2005d; 309(5731): 95.
- Service RF. Consumers nano-cautious. *Science* 2005e; 309(5741): 1661.
- Service RF. Is the terabit within reach? *Science* 2006; 314(5807): 1868-70.
- Service RF. Can high-speed tests sort out which nanomaterials are safe? *Science* 2008; 321(5892): 1036-7.
- Service RF. DNA nanotechnology grows up. *Science* 2011; 332(6034): 1140-3.
- Sfeir MY, Wang F, Huang L, Chuang C-C, Hone J, O'Brien SP, Heinz TF, Brus LE. Probing electronic transitions in individual carbon nanotubes by rayleigh scattering. *Science* 2004; 306 (5701): 1540-3.
- Sfez L. A saúde perfeita: crítica de uma nova utopia. São Paulo: Loyola; 1996.
- Sganzerla A, Valverde AJR, Falabretti R. Natureza humana em movimento: ensaios de antropologia filosófica. São Paulo: Paulus; 2012.
- Shalaev VM. Transforming light. *Science* 2008; 322(5900): 384-96.
- Shrader-Frechette K. Nanotoxicology and ethical conditions for informed consent. *Nanoethics* 2007; 1(1): 47-56.
- Sibilia P. O homem pós-orgânico: corpo, subjetividade e tecnologias digitais. Rio de Janeiro: Relume Dumará; 2002.
- Sibilia P. A desmaterialização do corpo: da alma (analógica) à informação (digital). *Comunicação, mídia e consumo* 2006; 3(6): 105-19.
- Sibilia P. Ciências da vida redefinem a condição humana. [Entrevista por Patrícia Fachin]. *Revista do Instituto Humanitas Unisinos* 2008; 259: 7-9.
- Siegel JS. Chemical topology and interlocking molecules. *Science* 2004; 304(5675): 1256-8.
- Sigel R, Fytas G, Vainos N, Pispas S, Hadjichristidis N. Pattern formation in homogeneous

- polymer solutions induced by a continuous-wave visible laser. *Science* 2002; 297(5578): 67-70.
- Sloterdijk P. Regras para o parque humano: uma resposta à carta de Heidegger sobre o humanismo. 2 ed. São Paulo: Estação Liberdade; 2011.
- Slovic P. Perception of risk. *Science* 1987; 236: 280-6.
- Slovic P. Public perception of risk. *Journal of Environmental Health* 1997; 59(1): 22-6.
- Sontag S. A doença como metáfora. Rio de Janeiro: Graal; 1984.
- Soukoulis CM, Wegener M. Optical metamaterials — more bulky and less lossy. *Science* 2010; 330(6011): 1633-4.
- Sparrow R. Revolutionary and familiar, inevitable and precarious: rhetorical contradictions in enthusiasm for nanotechnology. *Nanoethics* 2007; 1(1): 57-68.
- Stanley SA, Gagner JE, Damanpour S, Yoshida M, Dordick JS, Friedman JM. Radio-wave heating of iron oxide nanoparticles can regulate plasma glucose in mice. *Science* 2012; 336 (6081): 604-8.
- Stern ST, McNeil SE. Nanotechnology safety concerns revisited. *Toxicological Sciences* 2008; 101(1): 4–21.
- Stirling A. Risk, precaution and science: towards a more constructive policy. *Embo Reports* 2007; 8(4): 309-15.
- Stix G. Little big science. *Scientific American* 2001; 285(3): 32-7.
- Suresh S. Graded materials for resistance to contact deformation and damage. *Science* 2001; 292(5526): 2447-51.
- Susanne C, Casado M, Buxo MJ. What challenges offers nanotechnology to bioethics? *Law and Human Genome Review* 2005; 22: 27-45.
- Swierstra T, Rip A. Nano-ethics as NEST-ethics: patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. *Nanoethics* 2007; 1(1): 3–20.
- Szuromi P. All wound up. *Science* 2006; 312(5781): 1719.
- Tang C, Lennon EM, Fredrickson GH, Kramer EJ, Hawker CJ. Evolution of block copolymer lithography to highly ordered square arrays. *Science* 2008; 322(5900): 429-32.
- Thodey K, Smolke CD. Bringing it together with RNA. *Science* 2011; 333(6041): 412-3.
- Travesset A. Self-assembly enters the design era. *Science* 2011; 334(6053): 183-4.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). The ethics and politics of nanotechnology. Geneva: UNESCO; 2006.
- Van den Heuvel MGL, Dekker C. Motor proteins at work for nanotechnology. *Science* 2007; 317(5836): 333-6.

- Vilaça MM. O humano entre natureza e seleção: dilemas éticos no debate Sloterdijk-Habermas. *Cadernos de Ética e Filosofia Política* 2009; 15(2): 211-31.
- Walt DR. Miniature analytical methods for medical diagnostics. *Science* 2005; 308(5719): 217-9.
- Watson A. Getting the measure of nanotechnology. *Science* 2004; 306(5700): 1309-10.
- Web of Science. Search "nanotechnology". ISI web of Knowledge; 2012. [Acesso em 28 de junho de 2012]. Disponível em: http://apps.webofknowledge.com/summary.do?SID=3E9K4gDO1LBLffNDa5D&product=WOS&qid=1&search_mode=GeneralSearch
- Weckert J, Moor J. The precautionary principle in nanotechnology. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 191-204.
- Wickson F, Grieger K, Baun A. Nature and nanotechnology: science, ideology and policy. *International Journal of Emerging Technologies and Society* 2010; 8(1): 5-23.
- Wonglimpiyarat J. Nanotechnology: a successive industrial revolution of Schumpeter's long wave theory. *International Journal of Nanotechnology* 2004; 1(4): 480-90.
- Yin P, Hariadi RF, Sahu S, Choi HMT, Park SH, LaBean TH, Reif JH. Programming DNA tube circumferences. *Science* 2008; 321(5890): 824-6.
- Zebrowski, Robin L. Altering the body: nanotechnology and human nature. *International Journal of Applied Philosophy* 2006; 20(2): 229-46.

**ANEXO 1. LISTA DOS ARTIGOS SOBRE NANOTECNOLOGIA PUBLICADOS PELA
REVISTA SCIENCE NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2000 A JUNHO DE
2012 EM ORDEM CRONOLÓGICA**

- Forró L. Beyond gedanken experiments. *Science* 2000; 289(5479): 560-1.
- Baughman RH. Putting a new spin on carbon nanotubes. *Science* 2000; 290(5495): 1310-1.
- Besenbacher F, Norskov JK. How to power a nanomotor. *Science* 2000; 290(5496): 1520.
- Service RF. Is nanotechnology dangerous? *Science* 2000; 290(5496): 1526-7.
- Dresselhaus MS. Burn and interrogate. *Science* 2001; 292(5517): 650-1.
- Suresh S. Graded materials for resistance to contact deformation and damage. *Science* 2001; 292(5526): 2447-51.
- Tseng GY, Ellenbogen JC. Toward nanocomputers. *Science* 2001; 294(5545): 1293-4.
- Service RF. Nanowire fabricators earn their stripes. *Science* 2002; 295(5557): 946-7.
- Niemeyer CM. Tools for the biomolecular engineer. *Science* 2002; 297(5578): 62-3.
- Sigel R, Fytas G, Vainos N, Pispas S, Hadjichristidis N. Pattern formation in homogeneous polymer solutions induced by a continuous-wave visible laser. *Science* 2002; 297(5578): 67-70.
- Wetherbee R. The diatom glasshouse. *Science* 2002; 298(5593): 547.
- Murphy CJ. Nanocubes and nanoboxes. *Science* 2002; 298(5601): 2139-41.
- Service RF. Biology offers nanotechs a helping hand. *Science* 2002; 298(5602): 2322-3.
- Reches M, Gazid E. Casting metal nanowires within discrete self-assembled peptide nanotubes. *Science* 2003; 300(5619): 625-7.
- Service RF. Sorting technique may boost nanotube research. *Science* 2003; 300(5628): 2018.
- Malakoff D. Congress wants studies of nanotech's 'dark side'. *Science* 2003; 301(5629): 27.
- Holden C. Giving back. *Science* 2004; 303(5665): 1763.
- Buriak JM. Chemistry with nanoscale perfection. *Science* 2004; 304(5671): 692-3.
- Siegel JS. Chemical topology and interlocking molecules. *Science* 2004; 304(5675): 1256-8.
- Osborn IS. A bright idea for nanotubes? *Science* 2004; 304(5677): 1569.
- Service RF. Nanotechnology grows up. *Science* 2004; 304(5678): 1732-4.
- Dzenis Y. Spinning continuous fibers for nanotechnology. *Science* 2004; 304(5679): 1917-9.
- Kaiser J. Cancer nanotech plan gets nod of approval. *Science* 2004; 305(5683): 461.
- Hurtley S, Szuromi P. A structured route to light control. *Science* 2004; 305(5685): 749.
- Proffitt F. Yellow light for nanotech. *Science* 2004; 305(5685): 762.

- Service R. NCI backs nano in cancer war. *Science* 2004; 305(5691): 1691.
- Bhattacharjee Y. Pioneers. *Science* 2004; 306(5697): 809.
- Service R. Nanotech forum aims to head off replay of past blunders. *Science* 2004; 306(5698): 955.
- Osborne I, Clery D. Higher standards. *Science* 2004; 306(5700): 1307.
- Watson A. Getting the measure of nanotechnology. *Science* 2004; 306(5700): 1309-10.
- Yan H. Nucleic acid nanotechnology. *Science* 2004; 306(5704): 2048-9.
- Szuromi PD. Ingesting nanotubes. *Science* 2004; 306(5705): 2164.
- Marshall E. Swansea U goes deep into supercomputing. *Science* 2005; 307(5707): 193.
- Walt DR. Miniature analytical methods for medical diagnostics. *Science* 2005; 308(5719): 217-9.
- Lavine MS. Nanoparticle films. *Science* 2005; 308(5723): 759.
- Bhattacharjee Y. Nonprofit world. *Science* 2005; 308(5724): 949.
- Service RF. Color-changing nanoparticles offer a golden ruler for molecules. *Science* 2005; 308(5725): 1099.
- Hopkins DS, Pekker D, Goldbart PM, Bezryadin A. Quantum interference device made by DNA templating of superconducting nanowires. *Science* 2005; 308(5729): 1762-5.
- Service RF. How far can we push chemical self-assembly? *Science* 2005; 309(5731): 95.
- Bai C. Ascent of nanoscience in China. *Science* 2005; 309(5731): 61-3.
- Service RF. EPA ponders voluntary nanotechnology regulations. *Science* 2005; 309(5731): 36.
- Hassan MHA. Small things and big changes in the developing world. *Science* 2005; 309(5731): 65-6.
- Bohannon J. 'Smart coatings' research shows the virtues of superficiality. *Science* 2005; 309(5733): 376-7.
- Bhattacharjee Y. Jobs. *Science* 2005; 309(5737): 1011.
- Lavine MS. Capturing the fine details. *Science* 2005; 309(5740): 1459.
- Leslie M. Resources: gauging nanotech risks. *Science* 2005; 309(5740): 1467.
- Service RF. Consumers nano-cautious. *Science* 2005; 309(5741): 1661.
- Korgel BA. Nanosprings take shape. *Science* 2005; 309(5741): 1683-4.
- Arslan I, Yates TJV, Browning ND, Midgley PA. Embedded nanostructures revealed in three dimensions. *Science* 2005; 309(5744): 2195-8.
- Bhattacharjee Y. Jobs. *Science* 2005; 310(5746): 229.
- Service RF. 'Grandfather of nanotech' dies at 62. *Science* 2005; 310(5749): 754.
- Lavine MS, Vinson V, Coontz R. Design for living. *Science* 2005; 310(5751): 1131.
- Service RF. Nanotechnology takes aim at cancer. *Science* 2005; 310(5751): 1132-4.

- Bhattacharjee Y. Awards. *Science* 2005; 310(5752): 1275.
- Service RF. Calls rise for more research on toxicology of nanomaterials. *Science* 2005; 310(5754): 1609.
- Adams WW, Baughman RH. Richard E. Smalley (1943-2005). *Science* 2005; 310(5756): 1916.
- Bhattacharjee Y. Politics. *Science* 2006; 311(5761): 605.
- Hurtley S, Szuromi P. Assessing nanomaterial safety. *Science* 2006; 311(5761): 573.
- Lawler A. Venture adventure at NASA. *Science* 2006; 311(5763): 933.
- Yidong G. Innovation craze hits China. *Science* 2006; 311(5763): 931.
- Cho A. White House sticks to the basics. *Science* 2006; 311(5766): 1361.
- Leslie M. Exhibits: electrification project. *Science* 2006; 312(5770): 29.
- Ash C, Hurtley S, Lavine MS, Simpson S. Paradigms in the virosphere. *Science* 2006; 312(5775): 869.
- Leslie M. Education: school of the small. *Science* 2006; 312(5778): 1285.
- Szuromi P. All wound up. *Science* 2006; 312(5781): 1719.
- Cho A. Pretty as you please, curling films turn themselves into nanodevices. *Science* 2006; 313(5784): 164-5.
- Service RF. Mano a nano. *Science* 2006; 313(5785): 285.
- Bagla P. Asian alliance. *Science* 2006; 313(5792): 1375.
- Service RF. Priorities needed for nano-risk research and development. *Science* 2006; 314(5796): 45.
- Mervis J. Sought: reruns of the office. *Science* 2006; 314(5803): 1229.
- Kintisch E. EPA, Berkeley think small. *Science* 2006; 314(5804): 1371.
- Service RF. Is the terabit within reach? *Science* 2006; 314(5807): 1868-70.
- Webster P. Exhibiting restraint. *Science* 2007; 315(5808): 27.
- Burton KW. Awards. *Science* 2007; 315(5809): 169.
- Casassus B. France: the blame game. *Science* 2007; 315(5813): 749.
- Lewis NS. Toward cost-effective solar energy use. *Science* 2007; 315(5813): 798-801.
- Service RF. Health and safety research slated for sizable gains. *Science* 2007; 315(5814): 926.
- Holden C. Netwatch: the nano beat. *Science* 2007; 315(5816): 1199.
- Holden C. Nanofinger. *Science* 2007; 315(5820): 1773.
- Macwilliams B, Simpson J. Think tiny, Kremlin says. *Science* 2007; 316(5824): 529.
- Philips P, Palatsky AV. Cracking the supersolid. *Science* 2007; 316(5830): 1435-6.
- Van den Heuvel MGL, Dekker C. Motor proteins at work for nanotechnology. *Science* 2007; 317(5836): 333-6.

- Brett MJ, Hawkeye MM. New materials at a glance. *Science* 2008; 319(5867): 1192-3.
- Schweitzer G. Engaging russian scientists. *Science* 2008; 321(5887): 317.
- Urban KW. Studying atomic structures by aberration-corrected transmission electron microscopy. *Science* 2008; 321(5888): 506-10.
- Yin P, Hariadi RF, Sahu S, Choi HMT, Park SH, LaBean TH, Reif JH. Programming DNA tube circumferences. *Science* 2008; 321(5890): 824-6.
- Ruiz R, Kang H, Detcheverry FA, Dobisz E, Kercher DS, Albrecht TR, Pablo JJ, Nealey PF. Density multiplication and improved lithography by directed block copolymer assembly. *Science* 2008; 321(5891): 936-9.
- Service RF. Can high-speed tests sort out which nanomaterials are safe? *Science* 2008; 321(5892): 1036-7.
- Aldaye FA, Palmer AL, Sleiman HF. Assembling materials with DNA as the guide. *Science* 2008; 321(5897): 1795-9.
- Tang C, Lennon EM, Fredrickson GH, Kramer EJ, Hawker CJ. Evolution of block copolymer lithography to highly ordered square arrays. *Science* 2008; 322(5900): 429-32.
- Shalaev VM. Transforming Light. *Science* 2008; 322(5900): 384-96.
- Service RF. Report faults U.S. strategy for nanotoxicology research. *Science* 2008; 322(5909): 1779.
- Wang H, Keum JK, Hiltner A, Baer E, Freeman B, Rozanski A, Galeski A. Confined crystallization of polyethylene oxide in nanolayer assemblies. *Science* 2009; 323(5915): 757-60.
- Holden C. Master of nanotechnology. *Science* 2009; 325(5936): 15.
- Liu Y, Yan H. Designer curvature. *Science* 2009; 325(5941): 685-686.
- Ray LB. The heart of nanotechnology. *Science* 2010; 327(5967): 763.
- Brongersma ML, Shalaev VM. The case for plasmonics. *Science* 2010; 328 (5970): 440-1.
- Schliehe C, Juarez BH, Pelletier M, Jander S, Greshnykh D, Nagel M, Meyer A, Foerster S, Kornowski A, Klinke C, Weller H. Ultrathin PbS sheets by two-dimensional oriented attachment. *Science* 2010; 329(5991): 550-3.
- Evans JW, Thiel PA. A little chemistry helps the big get bigger. *Science* 2010; 330(6004): 599-600.
- Gagliardi G, Salza M, Avino S, Ferraro P, De Natale P. Probing the ultimate limit of fiber-optic strain sensing. *Science* 2010; 330(6007): 1081-4.
- Soukoulis CM, Wegener M. Optical metamaterials — more bulky and less lossy. *Science* 2010; 330(6011): 1633-4.

- Boltasseva A, Atwater HA. Low-loss plasmonic metamaterials. *Science* 2011; 331(6015): 290-1.
- Harmer MP. The phase behavior of interfaces. *Science* 2011; 332(6026): 182-3.
- Service RF. DNA nanotechnology grows up. *Science* 2011; 332(6034): 1140-3.
- Thodey K, Smolke CD. Bringing it together with RNA. *Science* 2011; 333(6041): 412-3.
- Travesset A. Self-assembly enters the design era. *Science* 2011; 334(6053): 183-4.
- Jacob Z, Shalaev VM. Plasmonics goes quantum. *Science* 2011; 334(6055): 463-4.
- Gogotsi Y, Simon P. True performance metrics in electrochemical energy storage. *Science* 2011; 334(6058): 917-8.
- Parak WJ. Complex colloidal assembly. *Science* 2011; 334 (6061): 1359-60.
- Batson P. Plasmonic Modes Revealed. *Science* 2012; 335(6064): 47-8.
- Hamburg MA. FDA's approach to regulation of products of nanotechnology. *Science* 2012; 336(6079): 299-300.
- Stanley SA, Gagner JE, Damanpour S, Yoshida M, Dordick JS, Friedman JM. Radio-wave heating of iron oxide nanoparticles can regulate plasma glucose in mice. *Science* 2012; 336(6081): 604-8.
- Lai Y-T, Cascio D, Yeates TO. Structure of a 16-nm cage designed by using protein oligomers. *Science* 2012; 336(6085): 1129.